

Japanese Patent Application Laid-open No. H11-233434

[Title of the Invention] EXPOSURE CONDITIONS DECIDING
5 METHOD, EXPOSURE METHOD, EXPOSURE APPARATUS, AND DEVICE
MANUFACTURING METHOD

[Abstract]

[Object] To decide best exposure conditions stably and
10 with good accuracy, and to achieve exposure with high
precision without fail by the best exposure conditions.

[Solving Means] A pattern formed on a measurement mask RT
is transferred onto a photosensitive measurement
15 substrate WT under exposure conditions where various
kinds of exposure energy amount and focus position are
combined. Then, pattern matching is performed between the
pattern transferred onto the photosensitive measurement
substrate WT and a template pattern which is prepared in
20 advance, and the best exposure conditions are decided
based on the results of the pattern matching. Under the
best exposure conditions decided in this manner, the
pattern formed on a mask R is transferred onto a
photosensitive substrate W. As a result, exposure can be
25 performed with good accuracy.

[What Is Claimed Is:]

[Claim 1] An exposure condition deciding method, in which

exposure conditions are decided so that an exposure illumination light is irradiated on a mask and a pattern formed on said mask is transferred onto a photosensitive substrate via a projection optical system, said method including:

5 a first process in which a measurement pattern formed on a measurement mask is transferred onto divided areas, said divided areas being a matrix shaped virtual divided area that has a row direction and a column direction perpendicular with each other on a surface of a measurement photosensitive substrate subject to exposure, and said measurement pattern being transferred by setting said measurement photosensitive substrate at the same position in an optical axis direction of said projection optical system for the same row while monotonously changing an exposure energy amount in said row direction, whereas for the same column an exposure energy amount is the same while a position of said measurement photosensitive substrate in said optical axis direction is monotonously changed in said column direction;

20 a second process in which said photosensitive substrate on which said pattern is transferred in said first process is developed and a transferred pattern formed on said photosensitive substrate that has been developed is detected;

a third process in which pattern matching is performed between said transferred pattern in each of said divided areas that has been detected in said second

process and a template pattern that has been prepared in advance; and

a fourth process in which the best exposure conditions are obtained based on results of said pattern
5 matching in said third process.

[Claim 2] The exposure condition deciding method according to Claim 1, wherein

said divided areas each have the same shape and a
10 difference of an exposure energy amount between said divided areas adjacent in said row direction is the same.

[Claim 3] The exposure condition deciding method according to Claim 1, wherein

15 said divided areas each have the same shape and a difference of a position in said optical axis direction between said divided areas adjacent in said column direction is the same.

20 [Claim 4] The exposure condition deciding method according to Claim 1, wherein

said measurement pattern is a cyclic pattern formed overall in an irradiation area of said exposure illumination light of said measurement mask.

25

[Claim 5] The exposure condition deciding method according to Claim 1, wherein

said measurement pattern is a cyclic pattern formed

on a part of an irradiation area of said exposure
illumination light of said measurement mask.

[Claim 6] The exposure condition deciding method
5 according to Claim 5, wherein

a part of said irradiation area of said exposure
illumination light where said measurement pattern of said
measurement mask is formed, is two fine areas and over
whose distance from a center point of said irradiation
10 area is different.

[Claim 7] The exposure condition deciding method
according to Claim 1, wherein

said template pattern is a pattern transferred onto
15 a divided area selected from said divided areas.

[Claim 8] The exposure condition deciding method
according to Claim 1, wherein

said template pattern is a pattern calculated based
20 on said measurement pattern and a projection
magnification of said projection optical system.

[Claim 9] The exposure condition deciding method
according to Claim 1, wherein

25 said template pattern is a pattern that consists of
only one of maximum brightness and minimum brightness.

[Claim 10] The exposure condition deciding method

according to Claim 1, wherein

said best exposure conditions are at least one of conditions related to the best focus position in said optical axis direction and conditions related to the best exposure energy amount.

[Claim 11] An exposure method in which an exposure illumination light irradiates a mask and a pattern formed on said mask is transferred onto a photosensitive substrate via a projection optical system, said method comprising:

a setting process in which the best exposure conditions is set to the best exposure conditions decided by an exposure conditions deciding method according to any one of Claims 1 to 10; and

a transferring process in which a pattern formed on said mask is transferred onto a photosensitive substrate via said projection optical system under said exposure conditions that are set.

20

[Claim 12] An exposure apparatus that irradiates an exposure illumination light on a mask and transfers a pattern formed on said mask onto a photosensitive substrate via a projection optical system, said exposure apparatus comprising:

a drive mechanism that drives said photosensitive substrate in an optical axis direction of said projection optical system and within a two-dimensional plane

perpendicular to said optical axis direction;

a focus adjustment system that has a detection system detecting a position of said photosensitive substrate in said optical axis direction, and adjusts
5 said position of said photosensitive substrate in said optical axis direction via said drive mechanism while monitoring detection results of said detection system;

a light intensity variable mechanism that changes an intensity density of said exposure illumination light;

10 a storage device that stores the best exposure conditions decided by said exposure condition deciding method of Claim 1, which has been performed using said drive mechanism and said light intensity variable mechanism; and

15 an adjustment unit that adjusts at least one of a target position of said focus adjustment system and said light intensity variable mechanism so that exposure conditions match the best exposure conditions stored in said storage device.

20

[Claim 13] A device manufacturing method, said method including:

an exposure process using said exposure method of Claim 11.

25

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Technical Field of the Invention] The present invention

relates to a method of deciding exposure conditions, an exposure method, an exposure apparatus, and a device manufacturing method. More particularly, the invention relates to a method of deciding exposure conditions to
5 decide exposure conditions when transferring a pattern formed on a mask onto a photosensitive substrate, an exposure method in which exposure is performed under the exposure conditions decided by the method of deciding exposure conditions, an exposure apparatus to which the
10 exposure method is applied, and a device manufacturing method for manufacturing a device such as a semiconductor device, which uses the exposure method.

[0002]

15 [Prior Art] Conventionally, in a lithographic process for manufacturing devices such as semiconductor devices or liquid crystal display devices, an exposure apparatus has been used where a pattern (also referred to as 'reticle pattern' hereinafter) formed on a mask or a reticle
20 (collectively referred to as 'reticle' hereinafter) is transferred onto a substrate (referred to as 'a photosensitive substrate or a wafer' appropriately, hereinafter) such as a wafer or a glass plate via a projection optical system. As an apparatus of this kind,
25 a reduction projection exposure apparatus (a so-called 'stepper') of a stationary exposure type (also referred to as step-and-repeat method) that repeats a stepping operation, where a wafer stage on which the wafer as a

sensitive substrate is mounted moves only by a predetermined amount in a two-dimensional direction to position the wafer at a predetermined exposure position, and an exposure operation, where the reticle pattern is transferred onto a shot area on the photosensitive substrate via the projection optical system at the positioned state, and a scanning exposure apparatus based on a step-and-scan method that is an improvement of the stepper, where an illumination light illuminates a predetermined slit-shaped area on the reticle while the reticle and the wafer synchronously move with respect to the projection optical system in a predetermined scanning direction in order to sequentially transfer the reticle pattern onto the wafer via the projection optical system, are practically used.

[0003] On exposure by such exposure apparatuses, it is known that the shape of the pattern transferred onto the wafer changes depending on the energy amount (exposure dose) of exposure light illuminated on the area subject to exposure on the wafer, or a positional relationship between the image plane of the reticle pattern that should be transferred on exposure and the area subject to exposure on the wafer, that is, the focus error of the area subject to exposure on the wafer. In other words, when the exposure dose is small, an area on the wafer that is to be exposed will not be sufficiently exposed, whereas when the exposure dose is large, an area on the

wafer that is not to be exposed will be exposed. Further, when the area subject to exposure on the wafer does not coincide with the image plane of the reticle pattern (the image plane of the reticle surface is not within the depth of focus regarding the projection optical system). That is, when there is a focus error, the reticle pattern image formed in the area subject to exposure on the wafer is blurred, and a faithful reduced image of the reticle pattern cannot be transferred onto the wafer. Therefore, in order to transfer a faithful reduced image of the reticle pattern onto the wafer, it is necessary to perform exposure after optimizing the exposure dose and focus control position (referred to as 'focus position' hereinafter) of the wafer.

15

[0004] Conventionally, such best exposure conditions have been detected by performing test exposure of a predetermined reticle pattern (such as a line-and-space pattern) serving as a test pattern on a test wafer with various exposure doses at various focus positions of the wafer, and by visually inspecting the state of the pattern transferred onto the test wafer. Specifically, the exposure dose and the focus position of the wafer by which the test exposure having the best transferred state from visual inspection was performed were decided as the best exposure conditions, or the presence of the transferred pattern was visually inspected and when the transferred pattern was confirmed, the midpoint of the

20
25

exposure dose range and the midpoint of the focus position range of the wafer were decided as the best exposure conditions of the exposure dose and the focus positions of the wafer.

5

[0005]

[Problems to be Solved by Invention] In the above-described conventional method of deciding the exposure conditions, because the results of the test exposure were reviewed based on visual inspection, the following problems occurred.

[0006] Specifically, in the method of deciding the exposure conditions where the best exposure conditions are obtained from the test exposure having the best transferred state by visual inspection, although it was easy to find the best transferred state from the test exposure when the test exposure conditions were roughly set, the best exposure conditions that was obtained could not be obtained with good accuracy. On the other hand, when the test exposure conditions were set in detail, firstly, the time required for the test exposure was prolonged, which decreased the productivity. Furthermore, many possibilities of the best exposure conditions could be expected, thus making it difficult to decide the best exposure conditions stably and with good accuracy by visual inspection.

25

[0007] Further, in the method of deciding the exposure

conditions where the best exposure conditions are obtained from the midpoint of the exposure dose range and the midpoint of the focus position range of the wafer when the presence of the transferred pattern was visually confirmed, in the case where the test exposure conditions were roughly set, the presence of the transferred pattern could be easily confirmed from the test exposure, however because there was no assurance that the true boundary of the transferred pattern was the test exposure conditions, the best exposure conditions could not be obtained with good accuracy. On the other hand, when the test exposure conditions were set in detail, firstly, the time required for the test exposure was prolonged; which decreased the productivity. Furthermore, the boundary of the presence of the transferred pattern was difficult to decide, which made it difficult to decide the best exposure conditions stably and with good accuracy.

[0008] The present invention was made under such circumstances, and has as its first object to provide a method of deciding the exposure conditions by which the best exposure conditions can be obtained stably and with good accuracy.

[0009] Further, the second object of the present invention is to provide an exposure method in which exposure with high precision under the best exposure conditions can be performed without fail.

[0010] Furthermore, the third object of the present invention is to provide an exposure apparatus capable of performing exposure with high precision under the best exposure conditions without fail.

[0011] Still further, the fourth object of the present invention is to provide a device manufacturing method for manufacturing a highly integrated device.

10

[0012]

[Means for Solving the Problems] The invention according to Claim 1 is an exposure condition deciding method, in which exposure conditions are decided so that an exposure illumination light is irradiated on a mask(R) and a pattern formed on the mask(R) is transferred onto a photosensitive substrate(W) via a projection optical system(PL), the method including: a first process in which a measurement pattern formed on a measurement mask is transferred onto divided areas, the divided areas being a matrix shaped virtual divided area that has a row direction and a column direction perpendicular with each other on a surface of a measurement photosensitive substrate subject to exposure(W_T), and the measurement pattern being transferred by setting the measurement photosensitive substrate(W_T) at the same position in an optical axis direction of the projection optical system(PL) for the same row while monotonously changing

25

an exposure energy amount in the row direction, whereas for the same column an exposure energy amount is the same while a position of the measurement photosensitive substrate(W_T) in the optical axis direction is

5 monotonously changed in the column direction; a second process in which the photosensitive substrate(W_T) on which the pattern is transferred in the first process is developed and a transferred pattern formed on the photosensitive substrate(W_T) that has been developed is

10 detected; a third process in which pattern matching is performed between the transferred pattern in each of the divided areas that has been detected in the second process and a template pattern that has been prepared in advance; and a fourth process in which the best exposure

15 conditions are obtained based on results of the pattern matching in the third process.

[0013] In the exposure condition deciding method according to Claim 1, on a two-dimensional coordinate

20 where the direction of the axes are the row direction and the column direction, respectively, which are orthogonal with each other on the photosensitive measurement substrate, the exposure energy amount is changed in the row direction while the position of the photosensitive

25 measurement substrate in the optical axis direction of the projection optical system, that is, the focus position of the photosensitive measurement substrate is monotonously changed in the column direction, and the

measurement pattern formed on the measurement mask is transferred onto the virtual divided areas arranged on the photosensitive measurement substrate in the shape of a matrix (the first process). As a result, a test exposure is preformed under various kinds of test exposure conditions for each of the divided areas on a single photosensitive measurement substrate where the change in the exposure energy amount as exposure conditions is reflected in the row direction and the change in the focus position of the photosensitive measurement substrate also as exposure conditions is reflected in the column direction.

[0014] Next, the photosensitive measurement substrate on which test exposure has been performed, is developed and the pattern transferred onto each of the divided areas on the photosensitive measurement substrate (transferred pattern) is detected (the second process). Then, pattern matching is performed between each transferred pattern detected and the template pattern previously prepared, and a degree of matching (degree of correlation between the two patterns) is obtained for each divided area (the third process). In other words, the transferred state of each divided area is obtained not by a sensory method such as visual inspection but by pattern matching, which is an objective and quantitative method. Then, the best exposure conditions are obtained based on the results of the pattern matching that have been obtained objectively

and quantitatively for each of the divided areas (the fourth process).

[0015] Therefore, according to the exposure condition
5 deciding method of Claim 1, the best exposure conditions can be obtained stably and with good accuracy, without setting detailed test exposure conditions that are more than necessary.

10 [0016] The invention according to Claim 2 is the exposure condition deciding method according to Claim 1, wherein the divided areas each have the same shape and a difference of an exposure energy amount between the divided areas adjacent in the row direction is the same.

15

[0017] According to the method, it is possible to obtain a quantitative pattern matching result where the exposure energy has a width of an equal distance, which simplifies the processing in obtaining the best exposure conditions
20 in the fourth process.

[0018] The invention according to Claim 3 is the exposure condition deciding method according to Claim 1, wherein the divided areas each have the same shape and a
25 difference of a position in the optical axis direction between the divided areas adjacent in the column direction is the same.

[0019] According to the method, it is possible to obtain a quantitative pattern matching result where the focus position of the photosensitive measurement substrate has a width of an equal distance, which simplifies the processing in obtaining the best exposure conditions in the fourth process.

[0020] In the exposure condition deciding method of Claim 1, various kinds of measurement patterns formed on the measurement mask can be considered. For example, as in the invention according to Claim 4, the measurement pattern may be a cyclic pattern formed overall in an irradiation area of the exposure illumination light of the measurement mask(R_T), or as in the invention according to Claim 5, the measurement pattern may be a cyclic pattern formed on a part of an irradiation area of the exposure illumination light of the measurement mask(R_T). Herein, the irradiation area of the exposure illumination light of the measurement mask is an area where the exposure illumination light simultaneously illuminates. Specifically, in the case of exposure based on the step-and-repeat method, it is the area on the mask where the pattern that is to be transferred onto the photosensitive substrate can be formed, and in the case of exposure based on the step-and-scan method, it is the slit-shaped area referred to earlier.

[0021] According to the exposure condition deciding

method of Claim 4, by performing pattern matching on all the shot areas on the photosensitive substrate corresponding to the illumination area of the exposure illumination light on the measurement mask, the best exposure conditions can be obtained for each of the positions in the shot area.

[0022] According to the exposure condition deciding method of Claim 5, because the calculation in the pattern matching can be reduced, the pattern matching results can be obtained at a high-speed and the exposure conditions can be decided at a high-speed.

[0023] In the exposure condition deciding method according to Claim 5, as in the invention according to Claim 6, a part of the irradiation area of the exposure illumination light where the measurement pattern of the measurement mask(R_T) is formed, can be two fine areas and over whose distance from a center point of the irradiation area is different. According to the method, by performing pattern matching between two or more fine areas whose distance from the center point of the shot area is different, the best exposure conditions can be obtained for the positions corresponding to these fine areas. Therefore, the image plane of the mask pattern for each of the fine areas is obtained from the best exposure conditions that have been obtained, and the focus control position of the shot area can be decided.

[0024] In the exposure condition deciding method of Claim 1, various configurations of the template pattern can be considered. For example, as in the invention according to
5 Claim 7, the template pattern can be a pattern transferred onto a divided area selected from the divided areas, or as in the invention according to Claim 8, the template pattern can be a pattern calculated based on the measurement pattern and a projection magnification of the
10 projection optical system(PL). Alternatively, as in the invention according to Claim 9, the template pattern can be a pattern that consists of only one of maximum brightness and minimum brightness.

15 [0025] According to the exposure condition deciding method of Claim 7, because the template pattern does not have to be prepared in advance by calculation or the like, the state of the transferred pattern can easily be pattern matched. On selecting the template pattern, the
20 transferred pattern of a divided area whose state of the transferred pattern is considered to be the best is selected by visual inspection. However, since a statistical operation called pattern matching is performed after selecting the template pattern, and the
25 exposure conditions are decided based on its result, subjective factors are completely eliminated when deciding the exposure conditions; therefore, the best exposure conditions can be obtained in a stable manner

with good accuracy.

[0026] Further, according to the exposure condition deciding method of Claim 8, since the template pattern is
5 a pattern calculated based on the measurement pattern and the projection magnification of the projection optical system, the exposure conditions are decided eliminating the subjective factor completely, which allows the best exposure conditions to be obtained in a stable manner
10 with good accuracy.

[0027] Further, according to the exposure condition deciding method of Claim 9, since the template pattern is a pattern that consists of only either the maximum
15 brightness of the minimum brightness, the exposure conditions can be decided eliminating the subjective factor completely similar to the exposure condition deciding method of Claim 8, and calculation is not necessary when making the template pattern. Furthermore,
20 since it is possible to avoid a sudden change in the pattern matching result caused by the exposure conditions in the case of the exposure condition deciding method of Claim 8, factors that require the skills of an operator, such as setting a threshold value in order to obtain the
25 best exposure conditions, can be reduced.

[0028] In the exposure condition deciding method of Claim 1, various kinds of the best exposure conditions to be

found can be considered, and as in the invention of Claim 10, the best exposure conditions can be at least one of conditions related to the best focus position in the optical axis direction and conditions related to the best exposure energy amount.

[0029] The invention of Claim 11 is an exposure method in which an exposure illumination light irradiates a mask(R) and a pattern formed on the mask(R) is transferred onto a photosensitive substrate(W) via a projection optical system(PL), the method comprising: a setting process in which the best exposure conditions is set to the best exposure conditions decided by an exposure conditions deciding method according to any one of Claims 1 to 10; and a transferring process in which a pattern formed on the mask(R) is transferred onto a photosensitive substrate(W) via the projection optical system(PL) under the exposure conditions that are set.

[0030] According to the method, since the pattern formed on the mask is transferred onto the photosensitive substrate via the projection optical system under the exposure conditions decided by the exposure condition deciding method of the present invention, exposure can be performed on the photosensitive substrate with good accuracy.

[0031] The invention of Claim 12 is an exposure apparatus

that irradiates an exposure illumination light on a mask(R) and transfers a pattern formed on the mask(R) onto a photosensitive substrate(W) via a projection optical system(PL), the exposure apparatus comprising: a
5 drive mechanism(21) that drives the photosensitive substrate(W) in an optical axis direction of the projection optical system(PL) and within a two-dimensional plane perpendicular to the optical axis direction; a focus adjustment system(19, 40, 42) that has
10 a detection system (40, 42) detecting a position of the photosensitive substrate in the optical axis direction, and adjusts the position of the photosensitive substrate(W) in the optical axis direction via the drive mechanism(21) while monitoring detection results of the
15 detection system(40, 42); a light intensity variable mechanism(1, 3) that changes an intensity density of the exposure illumination light; a storage device(29) that stores the best exposure conditions decided by the exposure condition deciding method of Claim 1, which has
20 been performed using the drive mechanism(21) and the light intensity variable mechanism(1, 3); and an adjustment unit(20) that adjusts at least one of a target position of the focus adjustment system(19, 40, 42) and the light intensity variable mechanism(1, 3) so that
25 exposure conditions match the best exposure conditions stored in the storage device.

[0032] In the exposure apparatus of Claim 12, by using

the drive mechanism, the focus adjustment system, and the light intensity variable mechanism, the measurement pattern formed on the measurement mask is transferred onto each of the divided areas, which are virtual divided areas in the shape of a matrix having a row direction and a column direction that is perpendicular to each other on the surface of a photosensitive measurement substrate subject to exposure, by setting the photosensitive measurement substrate to the same position in the optical axis direction of the projection optical system for the same row while monotonously changing the exposure energy amount in the row direction, whereas for the same column the same exposure energy amount is set and the position of the photosensitive measurement substrate in the optical axis direction is monotonously changed in the column direction. Next, the best exposure conditions, which have been obtained based on the transferred results of each of the divided areas and the pattern matching results between the template prepared in advance and the template pattern, are stored in the storage device. Then, the adjustment unit adjusts at least one of the target position of the focus adjustment system and the light intensity variable mechanism so that the exposure conditions match the best exposure conditions stored in the storage device, and then exposure is performed on the photosensitive substrate.

[0033] Therefore, according to the exposure apparatus of

Claim 12, it can support the exposure condition deciding method of Claim 1 as well as perform exposure on the photosensitive substrate with good accuracy, because the pattern formed on the mask is transferred onto the photosensitive substrate via the projection optical system under the best exposure conditions decided by the exposure condition deciding method of Claim 1.

[0034] The invention according to Claim 13 is a device manufacturing method, which includes an exposure process using the exposure method of Claim 11.

[0035] According to the method, because it uses the exposure method of Claim 11, exposure with high precision is performed under the best exposure conditions that have been obtained using the exposure condition deciding method in any one of Claims 1 to 10, thereby a high integration device can be manufactured.

[0036]
[Preferred Embodiments of the Invention] Description will be given for an embodiment of the exposure apparatus and an exposure method according to the present invention based on Figs. 1 to 12.

25

[0037] Fig. 1 shows a schematic configuration of an exposure apparatus 100 according to the embodiment. Exposure apparatus 100 is a projection exposure apparatus

based on a so-called step-and-scan exposure method.

[0038] Exposure apparatus 100 comprises an illumination system 10 that emits an illumination light for exposure, a reticle stage RST serving as a mask stage that holds a reticle R serving as a mask, a projection optical system PL, an XY stage unit 14 that comprises a substrate table 18 that holds a wafer W serving as a photosensitive substrate and moves in an XY two-dimensional direction within an XY plane, a control system for these parts, and the like. The control system includes a main controller 20 and a storage device 29 storing the exposure conditions.

[0039] Fig. 2 is a view for explaining an example of a specific configuration of illumination system 10. As is shown in Fig. 2, illumination system 10 comprises an excimer laser beam source 1, a beam shaping optical system 2, an rough energy adjuster 3, a fly-eye lens 4, an illumination system aperture stop plate 5, a beam splitter 6, a first relay lens 7A, a second relay lens 7B, a fixed reticle blind 8A, a movable reticle blind 8B, and the like.

[0040] Herein, each section of the configuration of illumination system 10 will be described. As excimer laser beam source 1, a KrF excimer laser beam source (oscillation wavelength 248nm), an ArF excimer laser beam

source (oscillation wavelength 193nm), an F₂ excimer laser beam source (oscillation wavelength 157nm), or the like is used. Instead of excimer laser beam source 1, a metal vapor laser beam source or a pulse light source such as a harmonic generator of a YAG laser may also be used as the exposure light source.

[0041] Beam shaping optical system 2 shapes the cross-sectional shape of laser beam LB, which is a pulsed beam emitted from excimer laser beam source 1, so that the beam effectively enters fly-eye lens 4 provided in the rear of the optical path of laser beam LB. For example, the system consists of a cylinder lens, a beam expander (both are not shown), or the like.

15

[0042] Rough energy adjuster 3 is arranged on the optical path of laser beam LB in the rear of beam shaping optical system 2. In this case, a plurality (six, for example) of ND filters (Fig. 1 shows only two ND filters (32A and 32D)) having different transmittance (=1-attenuation ratio) are arranged around a rotating plate 31, and a drive motor 33 rotates rotating plate 31 so that the transmittance to incident laser beam LB can be switched geometrically in a plurality of steps from 100%. Drive motor 33 operates under the control of main controller 20. A fine adjuster based on a double grating method or a fine energy adjuster that adjusts the crossing angle of two optical filters can also be arranged in the rear of

rough energy adjuster 3.

[0043] Fly-eye lens 4 is arranged on the optical path of laser beam LB in the rear of rough energy adjuster 3, and forms a large number of secondary light sources to illuminate reticle R with a uniform illumination distribution. The laser beam outgoing from the secondary light source will hereinafter be referred to as 'pulse illumination light'.

10

[0044] In the vicinity of the outgoing plane of fly-eye lens 4, illumination system aperture stop plate 5 made up of a disk-shaped member is arranged. On illumination system aperture stop plate 5, for example, an aperture stop made up of a regular circular aperture, an aperture stop made up of a small circular aperture to minimize σ value that is a coherence factor, a ring-shaped aperture for ring-shaped illumination, a modified aperture stop in which a plurality of apertures are arranged in a decentered manner for the use of a modified light source method (only two kinds of aperture stop are shown in Fig. 1), and the like are arranged in a substantially equiangular distance. A drive unit 51 such as a motor controlled by the main controller 20 (described later) rotates illumination system aperture stop plate 5, and an aperture stop is selectively set on the optical path of pulse illumination light IL.

[0045] On the optical path of the pulse illumination light IL in the rear of the illumination system aperture stop plate 5, beam splitter 6 that has small reflectivity and large transmittance is arranged, and further in the rear of the beam splitter, a relay optical system is arranged made up of the first relay lens 7A and the second relay lens 7B, with the fixed reticle blind 8A and the movable reticle blind 8B disposed in between.

[0046] Fixed reticle blind 8A is arranged on a plane slightly defocused from a conjugate plane against the pattern plane of reticle R, and a rectangular aperture that sets an illumination area IAR (refer to Fig. 4) on reticle R is formed on the blind. In addition, movable reticle blind 8B having an aperture section, whose position and width corresponding to a scanning direction are variable, is arranged near fixed reticle blind 8A, and it so as to further limit illumination area IAR at the beginning and the end of scanning exposure to prevent unnecessary areas from being exposed.

[0047] A bending mirror M, which reflects pulse illumination light IL having passed the second relay lens 7B toward reticle R, is arranged on the optical path of pulse illumination light IL in the rear of the second relay lens 7B that makes up the relay optical system.

[0048] The operation of illumination system 10 having

such an arrangement is briefly described. Laser beam LB, which is a pulsed beam emitted from excimer laser beam source 1, enters beam shaping optical system 2 where its cross-sectional shape is shaped so that the beam effectively enters fly-eye lens 4 in the rear, and then enters the rough energy adjuster 3. Laser beam LB having passed through one of the ND filters of the rough energy adjuster 3 then enters fly-eye lens 4. A large number of the secondary light sources are then formed on the outgoing end of fly-eye lens 4. Pulse illumination light IL outgoing from the large number of the secondary light sources reaches beam splitter 6 having large transmittance and small reflectivity, after passing through one of the aperture stops on illumination system aperture stop plate 5. Pulse illumination light IL as the exposure light having passed beam splitter 6, passes through the rectangular aperture stop of fixed reticle blind 8A and the movable reticle blind 8B via the first relay lens 7A, passes through the second relay lens 7B, and then its optical path is bent perpendicularly downward by mirror M, and so that it illuminates the rectangular illumination area IAR on reticle R held on reticle stage RST with a uniform illumination distribution.

25

[0049] On the other hand, pulse illumination light IL reflected off beam splitter 6 is received by an integrator sensor 53 that consists of a photoelectric

conversion element via a condenser lens 52, and the photoelectric conversion signal of integrator sensor 53 is supplied as an output DS to main controller 20 via a peak holding circuit and an A/D converter (not shown). As
5 integrator sensor 53, for example, a PIN type photodiode or the like having sensitivity within the far-ultraviolet region and a high response frequency to detect the pulse emission of excimer laser beam source 1 can be used. The correlation coefficient between output DS of integrator
10 sensor 53 and the illuminance (dose) of pulse illumination light IL on the surface of wafer W is obtained in advance, and stored in a memory 29 provided beside main controller 20.

15 [0050] In Fig. 3, a constituent related to dose control of illumination system 10 in Fig. 2 is extracted and shown. As is shown in Fig. 3, inside the excimer laser beam source 1, a laser resonator 1a, a beam splitter 1b, an energy monitor 1c, an energy controller 1d, a high-
20 voltage power supply 1e, and the like are provided. Rough energy adjuster 3 and excimer laser beam source 1 make up a light intensity variable mechanism.

[0051] In Fig. 3, the laser beam outgoing from the laser
25 resonator 1a in a pulsed state enters beam splitter having high transmittance and extremely low reflectivity, and laser beam LB having passed through beam splitter 1b proceeds outside. Further, laser beam LB reflected by the

beam splitter 1b enters energy monitor 1c that consists of the photoelectric conversion element, and a photoelectric conversion signal from energy monitor 1c is supplied as an output ES to energy controller 1d via a peak holding circuit (not shown). The unit of the energy control amount corresponding to output ES of energy monitor 1c is (mJ/pulse). During regular emission, energy controller 1d performs feedback control on the power supply voltage in high-voltage power supply 1e so that output ES of energy monitor 1c becomes a value corresponding to a target value of energy per pulse in control information TS supplied from main controller 20. Further, by controlling the energy supplied to laser resonator 1a via high-voltage power supply 1e, energy controller 1d also changes the oscillation frequency. Specifically, energy controller 1d sets the oscillation frequency of excimer laser beam source 1 to a frequency instructed by main controller 20 according to control information TS from main controller 20, and performs feedback control on the power supply voltage of high-voltage power supply 1e so that the energy per pulse in excimer laser beam source 1 becomes the value instructed by the main controller 20.

[0052] Furthermore, a shutter 1f to shield laser beam LB according to the control information from main controller 20 is also arranged outside beam splitter 1b in excimer laser beam source 1.

[0053] Returning to Fig. 1, on reticle stage RST, reticle R is fixed, for example, by vacuum chuck. Reticle stage RST is constituted finely drivable within a plane perpendicular to an optical axis IX (which matches an optical axis AX of the projection optical system to be described later) of the illumination optical system, two-dimensionally (in the X-axis direction and the Y-axis direction perpendicular thereto, and a rotational direction around the Z-axis perpendicular to the XY-plane).

[0054] Further, reticle stage RST is movable in a predetermined scanning direction (the Y-axis direction in this case) by a reticle drive section (illustration is omitted) made up of a linear motor or the like in a specified scanning velocity on a reticle base (not shown). Reticle stage RST has a moving stroke in which the entire surface of reticle R can cross optical axis IX of the illumination optical system in the least.

[0055] A movable mirror 15 that reflects the laser beam from a reticle laser interferometer (hereinafter, referred to as 'reticle interferometer') 16 is fixed on reticle stage RST, and reticle interferometer 16 detects the position of reticle stage RST at all times within a stage movement plane at a resolution of, for example, approximately 0.5 to 1nm. In actual, a movable mirror

having a reflection surface perpendicular to the scanning direction (the Y-axis direction) and a movable mirror having a reflection surface perpendicular to a non-scanning direction (the X-axis direction) are provided on
5 reticle stage RST, and reticle interferometer 16 is provided on one axis in the scanning direction and on two axes in the non-scanning direction, however, in Fig. 1, they are representatively shown as movable mirror 15 and reticle interferometer 16.

10

[0056] The positional information of reticle stage RST from reticle interferometers 16 is sent to main controller 20 via a stage control system 19, which drives the reticle stage RST via the reticle drive section
15 (illustration is omitted) based on the positional information of reticle stage RST, in response to instructions from main controller 20.

[0057] Since the initial position of reticle stage RST is
20 decided so that reticle R is aligned to a predetermined reference position with good accuracy by a reticle alignment system (not shown), the operation of simply measuring the position of movable mirror 15 by reticle interferometer 16 means that the position of reticle R
25 has been measured with sufficiently high accuracy.

[0058] Projection optical system PL is arranged below reticle stage RST in Fig. 1, and the direction of its

optical axis AX (which coincides with optical axis IX of the illumination optical system) is the Z-axis direction. In this case, in the system, in order to form a double telecentric optical arrangement, a refraction optical system made up of a plurality of lens elements (60a, 60b, ...) arranged along optical axis AX in a predetermined distance is used. Projection optical system PL is, for example, a reduction optical system having a predetermined projection magnification of $1/5$ (or $1/4$). Accordingly, when illumination light IL from the illumination optical system illuminates illumination area IAR of reticle R, a reduced image (partially inverted image) of a circuit pattern of reticle R is formed on wafer W coated with a photoresist by illumination light IL having passed through reticle R, via the projection optical system PL.

[0059] Among the lens elements, the uppermost lens element 60a closest to reticle stage RST is held by a ring shaped support member 62, which is supported at three points by flexible drive elements such as piezoelectric elements 64a, 64b, and 64c (drive element 64c in the depth of the page surface is not shown) and is connected to a barrel portion 66. The above drive elements 64a, 64b, and 64c are capable of individually moving the three points in the periphery of lens element 60a in the optical axis AX direction of projection optical system PL. In other words, lens element 60a can

be parallelly moved along optical axis AX according to the displacement amount of drive elements 64a, 64b, and 64c, and can be inclined in any direction with respect to a plane perpendicular to optical axis AX. Then, the
5 voltage provided to these drive elements 64a, 64b, and 64c is controlled by an image forming characteristics correction controller 68 based on instructions from main controller 20, and the displacement amount of drive elements 64a, 64b, and 64c is controlled. In Fig. 1,
10 optical axis AX of projection optical system PL coincides with the optical axes of lens element 60b and other lens elements (illustration is omitted) fixed to barrel portion 66.

15 [0060] Furthermore, in the embodiment, a sealed chamber 69 is formed in between particular lens elements near the center portion of the projection optical system PL in the optical axis direction, and the inner pressure of sealed chamber 69 is adjusted with a pressure adjustment
20 mechanism (not shown) (such as a bellows pump). The pressure adjustment mechanism also operates under the control of image forming characteristics correction controller 68, based on instructions from main controller 20, and the inner pressure of sealed chamber 69 is
25 adjusted.

[0061] Herein, by moving lens element 60a in the optical axis AX direction or by inclining it, the magnification

of projection optical system PL can be changed, or distortion and the image forming surface of projection optical system PL can be changed. In addition, by changing the inner pressure of sealed chamber 69 inside projection optical system PL, the magnification and the image forming surface of projection optical system PL can be changed.

[0062] XY stage unit 14 has a Y stage 16 that can move reciprocally on a base (not shown) in the Y-axis direction (right and left directions in Fig. 1), which is the scanning direction, an X stage 12 that can move reciprocally on the Y stage 16 in the X-axis direction (direction orthogonal to document surface in Fig. 1) perpendicular to the Y-axis direction, and a substrate table 18 provided on the X stage 12. Further, a wafer holder 25 is mounted on the substrate table 18, and wafer holder 25 holds wafer W serving as the photosensitive substrate by vacuum chucking.

20

[0063] The substrate table 18 is attached on X stage 12 positioned in the XY direction, in a state where movement in the Z direction and inclination are allowed. Substrate table 18 is supported at three different support points by three axes (not shown), and these three axes are independently driven in the Z-axis direction by wafer drive unit 21 serving as the drive mechanism so as to set the surface position (the position in the Z-axis

direction and tilt with respect to XY plane) of wafer W held on substrate table 18 to a desired state.

[0064] A movable mirror 27 that reflects the laser beam from a wafer laser interferometer (hereinafter, referred to as 'wafer interferometer') 28 is fixed on substrate table 18, and wafer interferometer 28, which is arranged externally, detects the position of substrate table 18 within the XY plane at all times at a resolution of, for example, approximately 0.5 to 1nm.

[0065] In actual, a movable mirror having a reflection surface perpendicular to the Y-axis direction, which is the scanning direction, and a movable mirror having a reflection surface perpendicular to the X-axis direction, which is the non-scanning direction, are provided on substrate table 18, and wafer interferometer 28 is provided on one axis in the scanning direction and on two axes in the non-scanning direction, however, in Fig. 1, they are representatively shown as movable mirror 27 and wafer interferometer 28. The positional information (or velocity information) of substrate table 18 is sent to main controller 20 via stage control system 19, which drives Y stage 16 and X stage 12 via the wafer drive section 21 (which includes all of the drive systems of X stage 12 and Y stage 16, and the drive system of substrate table 18) based on instructions from main controller 20.

[0066] Furthermore, on substrate table 18, a fiducial mark plate FM is fixed on which various kinds of fiducial marks are formed for baseline measurement or the like, in which the distance from the detection center of an alignment detection system (not shown) based on an off-axis method to the optical axis of projection optical system PL is measured.

[0067] Still further, in the apparatus of Fig. 1, a multiple point focus position detection system that is one of a focus detection system (focal point detection system) based on an oblique incident method for detecting the position of an area within an exposure area IA (an area on wafer W, which is conjugate to the above-described illumination area IAR: refer to Fig. 4) on the surface of wafer W and its vicinity in Z-axis direction (optical axis AX direction). As is shown in Fig. 1, the multiple point focus position detection system is made up of an illumination optical system 40 and a photodetection optical system 42. The illumination optical system 40 consists of an optical fiber bundle 80, a mirror 81, a condenser lens 82, a pattern forming plate 83, a lens 84, a mirror 85, and an illumination objective lens 86, whereas photodetection optical system 42 consists of a condenser objective lens 87, a rotational direction vibration plate 88, an image forming lens 89, a photodetection slit plate 98, and a photodetection unit

90 having a large number of photosensors. Details on configuration or the like of the multiple point focus position detection system is disclosed in, for example, Japanese Patent Application Laid-open No. H6-283403.

5

[0068] Herein, each of the constituent sections of the multiple point focus position detection system (40 and 42) will be described, together with its operation.

Illumination light that has a different wavelength from
10 the exposure light and is not photosensitive to the photoresist on wafer W is guided from an illumination source (not shown) via optical fiber bundle 80. The illumination light outgoing from optical fiber bundle 80 passes through mirror 81 and condenser lens 82, and
15 illuminates pattern forming plate 83.

[0069] On pattern-forming plate 83, a plurality of slit-shaped aperture patterns (not shown) is formed in a matrix arrangement. The illumination light having passed
20 through each slit-shaped aperture pattern of pattern forming plate 83 (imaging beam of the aperture pattern) proceeds through lens 84, mirror 85, and illumination objective lens 86 and is projected on the surface of wafer W subject to exposure, and the image of the slit-shaped aperture pattern on the pattern forming plate 83.
25 is projected and formed thereon. A part of the images of the aperture pattern is formed within exposure area IA (refer to Fig. 4) on wafer W, while other parts are

formed outside exposure area IA.

[0070] Then, the reflection beams reflected off the surface of wafer W subject to exposure proceeds toward a direction symmetrical to the imaging beam from illumination optical system 40 inclined with respect to optical axis AX by a predetermined angle, passes through condenser objective lens 87, rotational direction vibration plate 88, and image forming lens 89, and then the image is formed again on photodetection slit plate 98 arranged in front of photodetection unit 90. Photodetection unit 90 detects the re-formed image, and a signal processing unit 91 performs synchronous detection with a rotation-vibration frequency signal via a sensor selection circuit 93. Multiple focus signals obtained by the synchronous detection of signal processing unit 91 are supplied to main controller 20.

[0071] Consequently, the multiple focus signals obtained by the synchronous detection of signal processing unit 91 are supplied to main controller 20. Then, main controller 20 uses the focus signals related to the aperture patterns that have been formed outside exposure area IA of wafer W to predict the state of the next focusing, that is, to predict whether the surface of wafer W will change in the +Z direction or in the -Z direction, or to predict the leveling of the surface of wafer W. Based on such predictions and the focus signals related to the

aperture patterns formed within exposure area IA of wafer W, stage control system 19 and wafer drive unit 21 perform focusing and leveling adjustment of exposure area IA on wafer W. The multiple point focus position
5 detection system (40 and 42) and stage control system 19 make up the focus adjustment system.

[0072] Further, the apparatus of Fig. 1 comprises an alignment microscope based on an off-axis method (not
10 shown), which is arranged on the side surface of projection optical system PL, made up of an image forming alignment sensor that observes positional detection marks (alignment marks) formed on wafer W, and an image
processing unit (not shown) to which the observation
15 results of the alignment microscope and positional information on wafer W from wafer interferometer 28 are input in order to obtain the position of the positional detection marks on wafer W. The position of the
positional detection marks obtained by the image
20 processing unit is supplied to main controller 20.

[0073] As is shown in Fig. 4, in exposure apparatus 100 of the embodiment, reticle R is illuminated by a rectangular (slit shape) illumination area IAR having a
25 longitudinal direction in a direction perpendicular to the scanning direction (the Y-axis direction), and reticle R is scanned at a velocity V_R in the -Y direction during exposure. Illumination area IAR (whose center

substantially matches optical axis AX) is projected on wafer W via projection optical system PL, and a slit-shaped projection area conjugate to illumination area IAR, that is, exposure area IA is formed. Since wafer W has an inverted image forming relationship with reticle R, wafer W is scanned at a velocity V_W synchronously with reticle R in a direction (the +Y direction) opposite to the direction of velocity V_R , and the entire surface of a shot area SA on wafer W can be exposed. The scanning velocity ratio V_W/V_R accurately corresponds to the reduction magnification of projection optical system PL, and the pattern in pattern area PA of reticle R is accurately reduced and transferred onto shot area SA on wafer W. The width of illumination area IAR in the longitudinal direction is set so as to be wider than pattern area PA on the reticle R and narrower than the maximum width of a light shielded area ST, and the entire pattern area PA is illuminated when scanning is performed.

[0074] In scanning exposure apparatus 100, during the above scanning exposure, main controller 20 performs alignment of reticle R and wafer W via stage control system 19, wafer drive unit 21, and the like based on detection signals of an alignment detection system (not shown). Further, the main controller 20 controls substrate table 18 by driving it in the Z-axis direction and a direction of inclination via stage control system 19 and wafer drive unit 21, based on detection signals of

the multiple point focus position detection systems (40 and 42) so that the pattern surface of reticle R and the surface of wafer W become conjugate to projection optical system PL and the image forming surface of projection optical system PL and the surface of wafer W also match each other (the surface of the wafer falls within the depth of focus range of the best image forming plane of projection optical system PL), and thus the surface position is adjusted (setting the alignment surface).

10

[0075] Next, the method of deciding exposure conditions related to the above-described exposure apparatus 100 will be described. Prior to describing the method of deciding exposure conditions, an outline of the principle for detecting the best exposure conditions in the embodiment will be described, based on Fig. 5. As is shown in Fig. 5A, exposure illumination light IL that has an intensity (exposure energy) 'I' is irradiated on reticle R, and wafer W is arranged at a position Z in the optical axis AX direction (that is, the Z direction) of projection optical system PL. Further, Fig. 5B schematically shows a pattern (a line-and-space mark: hereinafter referred to as 'L/S mark') PR that is formed on reticle R, and Fig. 5C shows a schematic diagram of a pattern (L/S mark) PW transferred onto wafer W. Herein, as is shown in Fig. 5B, pattern PR formed on reticle R is to be an L/S mark having a line width LR and an array cycle of 2LR, while pattern PW transferred onto wafer W

25

is an L/S mark having a line width LW and an array cycle of LWP.

[0076] In an ideal exposure, when the projection magnification of projection optical system PL is β , the following expressions hold.

$$LW = \beta \times LR \quad \dots(1)$$

$$LWP = 2\beta \times LR \quad \dots(2)$$

When exposure energy I or position Z (focus position) of wafer W in the Z direction changes, the relationship in expression (2) is maintained, while the relationship in expression (1) may not necessarily hold because line width PW of pattern PW changes. That is, line width LW is a function LW (I, Z) of exposure energy I and focus position Z. For this reason, it is necessary to adjust exposure energy I and focus position Z in order to make the relationship in expression (1) hold and to set the best exposure conditions (I_B , Z_B), which are defined to have the smallest shift level from the relationship in expression (1) caused by the change in exposure energy I focus position Z.

[0077] Incidentally, when considering a value $|\Delta L|$, which is the difference between line width LW of the pattern transferred on wafer W and an ideal line width LT ($=\beta \times LR$), it becomes larger as the exposure conditions (I, Z) move away from the best exposure conditions (I_B , Z_B). In other words, if the exposure conditions (I, Z) move away from

the best exposure conditions (I_B, Z_B), the actual transferred pattern shape will also shift from an ideal transferred pattern. For example, when the ideal transferred pattern is used as a template pattern and pattern matching is performed between the template pattern and the actual transferred pattern, when the exposure conditions (I, Z) move away from the best exposure conditions (I_B, Z_B), the correlation coefficient becomes small.

10

[0078] Accordingly, for example, by executing the following procedure it is possible to decide the best exposure conditions. Following is a brief description of the procedure. Exposure is performed on wafer W using a measurement pattern PR formed on reticle R under exposure conditions where various kinds of exposure energy I and focus position Z are combined, and the pattern is transferred onto wafer W. Next, each pattern PW transferred onto wafer W under each of the exposure conditions is measured and pattern matching with the template pattern is performed. Then, for example, the correlation coefficient is obtained for each of the exposure conditions. Then, after obtaining the distribution of the correlation coefficient in two-dimensional coordinates (I, Z), the threshold value of a correlation coefficient C is set, and based on a figure formed by the coordinate values of the two dimensional coordinates (I, Z) serving as threshold values, the best

25

exposure conditions (I_B , Z_B) are obtained.

[0079] In this procedure, the above-described value $|\Delta L|$ could be used instead of the correlation coefficient, however, when value $|\Delta L|$ is used, on measuring the line width LW, the measurement has to be extremely accurate in order to detect subtle changes in each individual line width. Whereas, when pattern matching with the template pattern is performed, by collectively treating pattern PW transferred onto the wafer W, the changes in pattern PW transferred onto wafer W can be detected with good accuracy. That is, from the viewpoint of measurement accuracy, using the correlation coefficient is more advantageous than using value $|\Delta L|$.

15

[0080] Details on detecting the best exposure conditions in the embodiment will now be described, referring to Figs. 6 to 11. Figs. 6 and 7 show flowcharts for detecting the best exposure conditions in this embodiment.

20

[0081] Firstly, in step 201 of Fig. 6, a reticle loader (not shown) loads a reticle R_T for reference information collection onto reticle stage RST. Fig. 8 shows a pattern configuration that is formed on R_T for reference information collection used in this embodiment. As is shown in Fig. 8A, a total of five marks RM are formed in the center and the four corners of pattern area PA in reticle R_T . Further, in pattern area PA, the areas

besides where marks RM are formed are made into a light shielding pattern. As is shown in Fig. 8B, each mark RM is a L/S mark having lines of a line width LR_x and a line length LR_y that are arranged in the line width direction at a cycle $2LR_x$.

[0082] Returning to Fig. 6, in step 203, a wafer loader (not shown) continuously loads a measurement wafer W_T onto substrate table 18.

10

[0083] Next, in step 205, the exposure energy is set to be an initial value ($=I_1$). In the embodiment, when deciding the exposure conditions, the exposure energy is changed from I_1 to I_N ($N=6$, for example) with the pitch of ΔI . This exposure energy setting is performed with rough energy adjuster 3 or the light source 1 of Fig. 2. In other words, rough energy adjuster 3 adjusts the exposure energy by changing the transmittance of laser beam LB. On the other hand, the correlation between output ES of energy controller 1c and output DS of integrator sensor 53 in Fig. 3 is obtained in advance, and based on the correlation light source 1 adjusts the exposure energy by changing the energy per pulse of laser beam LB.

20

Incidentally, light source 1 adjusts the exposure energy in a state where laser beam LB is shielded by shutter 1f.

25

[0084] Next, in step 207, main controller 20 notifies stage controller 19 that a target position related to the

alignment of wafer W_T in the Z direction (hereinafter, referred to as 'Z position' or 'focus position') in scanning exposure is an initial value ($=Z_1$). In the embodiment, on deciding the exposure conditions, Z
 5 position is changed from Z_1 to Z_M ($M=6$, for example) with the pitch of ΔZ .

[0085] Continuously, in step 209, substrate table 18 is moved to a scanning starting position so as to transfer
 10 marks RM on reticle R onto divided areas DA_{11} in divided areas DA_{ij} ($i=1$ to M , $j=1$ to N) on the surface of wafer W_T subject to exposure. Main controller 20 performs this movement via stage control system 19, wafer drive unit 21, and the like. Figs. 9 and 10 show an arrangement of
 15 divided areas DA_{ij} on wafer W. The surface of wafer W is divided into a plurality of shot areas SA corresponding to pattern area PA of reticle R, as shown in Fig. 9A. In such shot area, as is shown in Fig. 9B, five areas DA are located that correspond to five marks which will be
 20 transferred in the following measurement exposure. Each of the areas DA is virtually divided in the shape of a matrix, and these divided areas are divided areas DA_{ij} onto which one mark RM is transferred per scanning exposure. Further, as is shown in Fig. 10, divided areas
 25 DA_{ij} are arranged on wafer W_T in the shape of a matrix, where +X direction is a row direction (increasing direction of j) and +Y direction is a column direction (increasing direction of i).

[0086] Returning to Fig. 6, next, in step 211, as is described above referring to Fig. 4, scanning exposure is performed on the shot area on the surface of wafer W_t subject to exposure by synchronously moving reticle R_t and wafer W_t and opening shutter 1f immediately before a conjugate area IA of illumination area IAR begins to cover the shot area SA. During the scanning exposure, main controller 20 performs drive control on substrate table 18 in the Z-axis direction via stage control system 19 and wafer drive unit 21 so that an alignment target position in the Z-axis direction becomes Z_1 , based on detection signals of the multiple point focus position detection system (40 and 42), as well as perform drive control in the direction of inclination to adjust the surface position (setting the aligning surface). Then, shutter 1f closes immediately after conjugate area IA of illumination area IAR moves away from divided areas DA_{ij} .

[0087] When step 211 is completed, in step 213, the decision is made whether or not transfer related to the divided areas corresponding to a predetermined Z position range has been completed in a state where the exposure energy is constant. In the description above, since marks RM have been transferred only for divided areas DA_{11} , it is decided that scanning exposure has not been performed for the predetermined Z position range. Then, in step 215, main controller 20 notifies stage control system 19 that

the Z position of wafer W_T during scanning exposure is Z_2 . Continuously, in step 209, substrate table 18 is moved to the scanning starting position so as to transfer marks RM onto divided areas DA_{21} in the same manner as is described above. At this point, reticle R_T returns to the scanning starting position. Then, in step 211, likewise the divided areas DA_{11} , scanning exposure is performed in order to transfer marks RM related to divided areas DA_{21} .

10 [0088] Subsequently, in step 213, scanning exposure to transfer marks RM related to divided areas DA_{i1} ($i=3$ to M) is sequentially executed until it is decided that scanning exposure has been performed for the predetermined Z position range. In this manner, the

15 pattern formed on reticle R_T is transferred onto the surface of wafer W_T subject to exposure for the case where the exposure energy during scanning exposure is I_1 . In step 213, when it has been decided that scanning exposure has been performed for the predetermined Z position range,

20 then in the next step, step 217, the decision is made whether or not exposure related to the divided areas in a predetermined exposure energy range has been completed. In the description above, since marks RM have been transferred only for divided areas DA_{i1} ($i=1$ to M), it is

25 decided that scanning exposure has not been performed in the predetermined exposure energy range, and in step 219, the exposure energy is set to be I_2 similar to step 205.

[0089] Next, similar to the case when the exposure energy is I_1 , in step 207, main controller 20 notifies stage control system 19 that the Z position of wafer W_T during scanning exposure is Z_1 , and then steps 209 to 215 are
5 executed again, thus scanning exposure to transfer marks RM related to divided areas DA_{i2} is performed.

[0090] Subsequently, in step 217, scanning exposure for transferring the marks RM regarding divided areas DA_{ij}
10 ($i=3$ to M , $j=3$ to N) is sequentially executed until it is decided that scanning exposure has been performed for the predetermined exposure energy range. In this manner, the pattern formed on reticle R_T is transferred onto the surface of wafer W_T subject to exposure for the
15 predetermined exposure energy range. As a result, marks RM are transferred onto all divided areas DA_{ij} . When the decision is made in step 217 that scanning exposure has been performed for the predetermined exposure energy range, then, in subroutine 221, pattern matching is
20 performed between the pattern transferred onto each of the divided areas DA_{ij} and the template pattern.

[0091] Fig. 7 shows a flowchart of sub-routine 221. As is shown in Fig. 7, in sub-routine 221, first of all, in
25 step 227, wafer W_T is unloaded from substrate table 18 (refer to Fig. 1), and then in step 229, wafer W_T is developed. Next, in step 231, the transferred patterns formed on each of the divided areas DA_{ij} on wafer W_T that

has been developed are picked up by a CCD or the like via a microscope, and the pick-up results are downloaded into a computer. To download the data, an exposure apparatus similar to the above-described exposure apparatus 100 in the embodiment may be used that further equips the microscope and the CCD may be used, or a different apparatus that comprises the microscope or the like and the computer may be used.

10 [0092] Next, in step 233, the template pattern is set. Herein, as the template pattern, an ideal transferred pattern calculated based on the pattern formed on reticle R_T and the projection magnification of projection optical system PL may be used, or a pattern selected from the patterns transferred onto divided areas DA_{ij} may also be used. On selecting the pattern, a pattern which is decided to be the closest to the ideal pattern among the patterns transferred onto divided areas DA_{ij} by human choice may be selected, or a pattern may be selected from the viewpoint of design that is exposed and transferred onto divided areas with the exposure conditions closest to the best exposure energy and the best focus position. Then, in step 235, pattern matching is performed between the pattern transferred onto each divided area DA_{ij} and the template pattern to find the correlation coefficient per each divided area DA_{ij} . Then, in step 237, correlation coefficients C_{ij} that have been obtained for each of the divided areas DA_{ij} are saved, and the

procedure returns to the main routine.

[0093] Next, returning to Fig. 6, in step 223, the best exposure energy and the best focus position, which are
5 the best exposure conditions, are obtained for each of the five areas DA in shot area SA in the following manner. Firstly, the two-dimensional coordinates (I, Z) of exposure energy I and focus position Z are considered for a single area DA, and by plotting the correlation
10 coefficient C_{ij} on the coordinate values (I_j, Z_i) , the distribution of the correlation coefficient is thus obtained. On exposing the above-described measurement wafer W_T , because the divided areas DA_{ij} were set to a same size, and the difference of the exposure energy
15 between adjacent divided areas in the row direction was set to the same value ($=\Delta I$) while the difference of the focus position between adjacent divided areas in the column direction was set to the same value ($=\Delta Z$), the arrangement of divided areas DA_{ij} on wafer W_T coincides
20 with the coordinate values (I_j, Z_i) in the two-dimensional coordinates (I, Z) without any modification.

[0094] Next, the best exposure conditions are obtained, based on the distribution of the correlation coefficient
25 C_{ij} obtained in this manner. On obtaining the best exposure conditions, several methods can be considered. For example, in a first method, a threshold value of a correlation coefficient is set, and in a divided area

that has a correlation coefficient larger than the threshold value, such area can be decided as an area containing a transferred pattern, whereas in a divided area that has a correlation coefficient smaller than the threshold value, the area does not contain a transferred pattern. Fig. 11 shows an example of a result of such a decision. In Fig. 11, the divided areas that do not contain any transferred patterns based on the decision are shown as outlined areas while the divided areas that have the transferred patterns are shown as hatched areas. Then, divided areas adjacent to the divided areas that do not contain any transferred patterns are extracted from the divided areas that contain the transferred patterns, and the coordinate values of the extracted divided areas are obtained. From the coordinate values obtained in such a manner, an approximated curve in the two-dimensional coordinates (I, Z) is obtained, for example, by the least squares method. And, the best exposure energy I_B and the best focus position Z_B are decided based on the approximated curve. In this case, regarding the best exposure energy I_B , when exposure energy I is assumed as an independent variable and a difference δZ of a value at a particular focus position and focus position Z is assumed as a dependent variable in the approximated curve, a value of the exposure energy where value δZ becomes the largest (or value δZ becomes the smallest) may be obtained as the best exposure energy I_B . Alternatively, regarding the best focus position Z_B , when focus position Z is

assumed as an independent variable and a difference δI of a particular exposure energy value and exposure energy I is assumed as a dependent variable in the approximated curve, a value of the focus position where value δI becomes the largest (or value δI becomes the smallest) may be obtained as the best focus position Z_B .

[0095] In a second method, a plurality of threshold values of the dependent variable is set in the approximated curve of the first method, and a midpoint of a value of the independent variable where the dependent variable becomes the threshold values, is obtained for each of the threshold values. Then, from the average value of such midpoints, the best value of a parameter for the exposure conditions selected as the independent variable is obtained. According to this method, it is possible to decide one value as the best value without fail. Besides such a method, as the third method, an approximated surface (that is, $C(I, Z)$) may be obtained from the correlation coefficient C_{ij} for the two-dimensional coordinates (I_j, Z_i) , and the best exposure conditions may be obtained, by using the exposure energy value and the focus position value on the approximated surface where the correlation coefficient becomes the largest as the best exposure energy and the best focus position.

[0096] Hereinafter, the best exposure conditions are

obtained for each of the other areas DA in the same manner as is described above. Consequently, the best exposure conditions of each area DA in the shot area are obtained.

5

[0097] The best exposure conditions obtained in step 223 as is described above are stored in storage device 29 in step 225. Thus, subjective factors are eliminated, and the best exposure conditions can be obtained in a stable
10 manner with good accuracy.

[0098] Next, an exposure operation by scanning exposure apparatus 100 of the embodiment when manufacturing a device will be described.

15

[0099] Firstly, the reticle loader loads reticle R on which a pattern to be transferred is formed onto reticle stage RST. In the same manner, the wafer loader loads wafer W to be exposed onto substrate table 18.

20

[0100] Next, main controller 20 performs preparatory operations for alignment measurement or the like, such as reticle alignment and baseline measurement using a reticle microscope (not shown) and fiducial mark plate FM
25 on substrate table 18, and EGA (enhanced global alignment) using the alignment detection system (not shown), according to a predetermined procedure when necessary.

[0101] On the exposure operation, substrate table 18 is moved so that the XY position of wafer W is at the scanning starting position for exposure of the first shot area (first shot) on wafer W. Main controller 20 performs the movement via stage control system 19 and wafer drive unit 21 or the like. At the same time, reticle stage 18 is moved so that the XY position of reticle R is also at the scanning starting position. Main controller 20 also performs this movement via stage control system 19 and the reticle drive section (not shown) or the like.

[0102] Accordingly, wafer W and reticle R move to their scanning starting positions, and before starting synchronous movement, main controller 20 reads the best exposure energy I_B and the best focus position Z_B , which are the best exposure conditions, from storage device 29. Then, main controller 20 adjusts the energy of the exposure illumination light to I_B by controlling light source 1 and rough energy adjuster, based on the best exposure energy I_B that it read, and notifies stage control system 19 of best focus position Z_B that has been read as the target focus position.

[0103] Then, stage control system 19 relatively moves reticle R and wafer W via the reticle drive section (not shown) and wafer drive unit 21, based on the XY positional information of reticle R that has been

measured by reticle interferometer 16, the XY positional information of wafer W that has been measured by wafer interferometer 28, and a first velocity information. Scanning exposure is performed along with such relative
5 movement.

[0104] Furthermore, stage control system 19 adjusts the surface position of substrate table 18 by driving substrate table 18 in Z-axis direction and in the
10 direction of inclination via wafer drive unit 21, based on the Z positional information of the wafer that has been detected by the multiple point focus position detection system (40 and 42).

15 [0105] When the reticle pattern has been transferred onto the first shot area by the scanning exposure performed with the above-described control, stepping operation of substrate table 18 is performed by one shot area, and then scanning exposure is performed in the same manner as
20 the previous shot area. The opening/closing of shutter 1f is performed at the same timing as is previously described.

[0106] Hereinafter, stepping and scanning exposure
25 operations are sequentially repeated in this manner, and the pattern of a required shot number is transferred onto wafer W. Therefore, according to the embodiment, scanning exposure can be performed under the best exposure

conditions that have been obtained with good accuracy, and thus it is possible to perform highly accurate exposure.

5 [0107] Next, an embodiment of a device manufacturing method that uses the scanning exposure apparatus and the method described above will be described.

[0108] Fig. 12 is a flowchart showing an example of
10 manufacturing a device (a semiconductor chip such as an IC or an LSI, a liquid crystal panel, a CCD, a thin magnetic head, a micromachine, or the like). As shown in Fig. 12, in step 301 (design step), function/performance is designed for a device (e.g., circuit design for a
15 semiconductor device) and a pattern to implement the function is designed. In step 302 (mask manufacturing step), a mask on which the designed circuit pattern is formed is manufactured, whereas, in step 303 (wafer manufacturing step), a wafer is manufacturing by using a
20 silicon material or the like.

[0109] Next, in step 304 (wafer processing step), an actual circuit and the like is formed on the wafer by lithography or the like using the mask and wafer prepared
25 in steps 301 to 303, as will be described later. Next, in step 305 (device assembly step) a device is assembled using the wafer processed in step 304. The step 305 includes processes such as dicing, bonding, and packaging

(chip encapsulation), as necessary.

[0110] Finally, in step 306 (inspection step), tests on operation, durability, and the like are performed on the device processed in step 305. After these steps, the device is completed and shipped out.

[0111] Fig. 13 is a flow chart showing a detailed example of step 304 described above in manufacturing the semiconductor device. Referring to Fig. 13, in step 311 (oxidation step), the surface of the wafer is oxidized. In step 312 (CVD step), an insulating film is formed on the wafer surface. In step 313 (electrode formation step), an electrode is formed on the wafer by vapor deposition. In step 314 (ion implantation step), ions are implanted into the wafer. Steps 311 to 314 described above make up a pre-process for the respective steps in the wafer process, and are selectively executed depending on the processing required in the respective steps.

20

[0112] When the above pre-process is completed in the respective steps in the wafer process, a post-process is executed in the following manner. In this post-process, first, in step 315 (resist formation step), the wafer is coated with a photosensitive agent. Next, in step 316 (exposure step), the circuit pattern on the mask is transferred onto the wafer by the exposure apparatus and the exposure method described above. And, in step 317

(development step), the wafer that has been exposed is developed. Then, in step 318 (etching step), an exposed member of an area other than the area where the resist remains is removed by etching. Finally, in step 319
5 (resist removing step), when etching is completed, the resist that is no longer necessary is removed.

[0113] By repeatedly performing these pre-process and post-process steps, multiple circuit patterns are formed
10 on the wafer.

[0114] By using the device manufacturing method in the embodiment, devices with high integration that was difficult to manufacture conventionally can be
15 manufactured.

[0115] In this embodiment, an L/S pattern has been used as the pattern formed on measurement reticle R_T , but a cyclic dot pattern resembling the actual circuit pattern
20 whose image can also be easily processed can be used likewise the L/S pattern. In the case of using either pattern, however, the pattern should be a cyclic pattern close to the minimum line width or the minimum area that the subject exposure apparatus is capable of transferring.

25

[0116] Further, in the embodiment, the patterns formed on measurement reticle R_T at the five positions, in the center and the four corners, were made up by marks MR,

however, marks MR can be formed on measurement reticle R_T according to a desired positional resolution for obtaining the best exposure conditions.

5 [0117] Moreover, although the L/S pattern of the same cycle direction has been used as the pattern formed on measurement reticle R_T , a combined L/S pattern having vertical lines, horizontal lines, diagonal lines and the like, which are formed close to one another, can be used
10 as well. In this case, aberration measurement such as astigmatism can be performed.

[0118] Furthermore, in the embodiment, although pattern matching that calculates the correlation coefficient has
15 been used as the pattern matching with the template pattern, a pattern matching may be used, for example, that calculates the difference between patterns. In this case, although the pattern matching result is minimal under the best exposure conditions and the pattern
20 matching result becomes larger as the exposure conditions move away from the best exposure conditions, the best exposure conditions can be decided in a similar manner as in the embodiment when this point is taken into consideration.

25

[0119] In addition, the template pattern can be made to be a pattern that consists of only the maximum brightness or the minimum brightness. In this case, as well, by

checking the dependency of the pattern matching results to the exposure energy and the focus position, the best exposure conditions can be decided. For example, by directly using the first method for finding the best exposure conditions in the embodiment, the best focus position can be decided, or alternatively, a focus position at which the pattern matching result becomes an extreme value due to the change in focus position when the exposure energy is uniform is obtained for each exposure energy, and the exposure energy value in which the type of the extreme value changes from the maximum value to the minimum value can be obtained as the best exposure energy.

[0120] In addition, in the embodiment, the best focus position has been obtained by performing exposure while changing the Z position of the wafer, but the best image forming conditions can be obtained when main controller 20 changes the image forming surface position of projection optical system PL in Fig. 1 via imaging characteristic correction controller 68. In this case, main controller 20 adjusts the image forming characteristics of projection optical system PL via image forming characteristic correction controller 68, in order to set the best exposure conditions.

[0121] Further, in the embodiment, the excimer laser beam source has been used as the light source, but an emission

line (such as a g-line and an i-line) in an ultraviolet region from an ultra high-pressure mercury lamp may be used. In this case, the exposure energy can be adjusted by lamp output control, an attenuation filter such as an ND filter, a light quantity aperture diaphragm, or the like.

[0122] Still further, the present invention can be applied to any wafer exposure apparatus and liquid crystal exposure apparatus, such as a reduction projection exposure apparatus using ultraviolet ray as a light source, a reduction projection exposure apparatus using soft X-ray having a wavelength of approximately 10nm as a light source, an X-ray exposure apparatus using a light source having a wavelength of approximately 1nm, and an exposure apparatus using an EB (electron beam) or an ion beam. In addition, the type of the apparatus does not matter, whether it is a step-and-repeat type, a step-and-scan type, or a step-and-stitch type.

20

[0123]

[Effect of the Invention] As it has been described in detail, according to the method of deciding exposure conditions of Claims 1 to 10, the pattern formed on the mask is transferred onto the photosensitive substrate under the exposure conditions where various kinds of exposure energy and focus position are combined. Then, pattern matching is performed between the pattern

transferred onto the photosensitive substrate and the previously prepared template pattern, and the best exposure conditions are decided based on the result of pattern matching, so that subjective factors can be eliminated and the best exposure conditions can be decided in a stable manner with good accuracy.

[0124] Further, according to the exposure method of Claim 11, the pattern formed on the mask is transferred onto the photosensitive substrate under the best exposure conditions decided by the method of deciding exposure conditions of any one of Claims 1 to 10, therefore, exposure can be performed with good accuracy.

[0125] Furthermore, according to the exposure apparatus of Claim 12, the pattern formed on the mask is transferred onto the photosensitive substrate based on the best exposure conditions decided by the method of deciding exposure conditions of Claim 1, which is stored in the storage device, therefore, exposure can be performed with good accuracy.

[0126] According to the exposure method of Claim 13, the exposure method of Claim 11 is used in the exposure process, therefore, high integration devices that have been difficult to manufacture, can be manufactured.

[Brief Description of the Drawings]

Fig. 1 is a view showing a general configuration of an exposure apparatus related to an embodiment of the present invention.

Fig. 2 is a view for explaining an example of a specific
5 configuration of an illumination system 10 in Fig. 1.

Fig. 3 is a view for explaining a part related to dose control of illumination system 10 in Fig. 2.

Fig. 4 is a view for explaining an outline of a principle of scanning exposure by the apparatus in Fig. 2.

10 Figs. 5A to C are views for explaining a principle of deciding the best exposure conditions in an embodiment.

Fig. 6 is a flowchart of deciding exposure conditions in an embodiment.

Fig. 7 is a flowchart of a subroutine 221 in Fig. 6.

15 Figs. 8A and 8B are views for explaining a pattern formed on a reticle R_T .

Figs. 9A and 9B are views for explaining an arrangement of divided areas on wafer W_T .

Fig. 10 is a view for explaining an arrangement of
20 divided areas.

Fig. 11 is a view for explaining a state of a transferred pattern due to the change in exposure energy I and focus position Z .

Fig. 12 is a flowchart for explaining an embodiment of a
25 device manufacturing method according to the present invention.

Fig. 13 is a flowchart of processing in step 304 in Fig. 12.

[Description of Reference Numerals]

- 1...Light source (a part of light intensity variable mechanism)
- 5 3...Rough energy adjuster (a part of light intensity variable mechanism)
- 19...Stage control system (a part of focus adjustment system)
- 20...Main controller (adjustment unit)
- 10 21...Wafer drive unit (drive mechanism)
- 29...Storage device
- 40...Illumination optical system (a part of detection system, a part of focus adjustment system)
- 42...Photodetection optical system (a part of detection system, a part of focus adjustment system)
- 15 PL...Projection optical system
- R...Reticle (mask)
- R_T...Reticle (measurement mask)
- W...Wafer (photosensitive substrate)
- 20 W_T...Wafer (photosensitive measurement substrate)

FIG.1

20...MAIN CONTROLLER

FIG.2

1...EXCIMER LASER BEAM SOURCE

5 2...BEAM SHAPING OPTICAL SYSTEM

20...MAIN CONTROLLER

FIG.3

3...ROUGH ENERGY ADJUSTER

20...MAIN CONTROLLER

10 FIG.

START

201...LOAD RETICLE R_T .

203...LOAD WAFER W_T .

205...SET I_1 AS EXPOSURE ENERGY AMOUNT ($j \leftarrow 1$).

15 207...SET Z_1 AS ALIGNMENT TARGET POSITION OF WAFER IN Z
DIRECTION ($i \leftarrow 1$).

209...MOVE SUBSTRATE TABLE TO SCANNING STARTING POSITION
WHERE SCANNING EXPOSURE START POSITION WHERE MARKS RM ARE
TRANSFERRED ONTO DIVIDED AREAS DA_{ij} .

20 211...SCANNING EXPOSURE

213...WHETHER OR NOT EXPOSURE IN PREDETERMINED Z RANGE
ENDED?

215...UPDATE TARGET POSITION IN Z DIRECTION.

217...WHETHER OR NOT EXPOSURE IN PREDECIDE I RANGE ENDED?

25 219...UPDATE EXPOSURE ENERGY AMOUNT.

221...TEMPLATE MATCHING WITH TRANSFERRED PATTERN

223...FIND BEST EXPOSURE CONDITIONS.

225...STORE IN STORAGE DEVICE.

END

FIG.7

START

227...UNLOAD WAFER W_T .

5 229...DEVELOP WAFER.

231...DOWNLOAD TRANSFERRED PATTERN.

233...SET TEMPLATE PATTERN.

235...PERFORM PATTERN MATCHING BETWEEN EACH TRANSFERRED
PATTERN AND TEMPLATE PATTERN.

10 237...STORE PATTERN MATCHING RESULT.

RETURN

FIG.10

COLUMN DIRECTION

ROW DIRECTION

15 FIG.11

Z POSITION

EXPOSURE ENERGY AMOUNT

NO TRANSFERRED PATTERN

WITH TRANSFERRED PATTERN

20 FIG.12

301...DESIGN (FUNCTION, PERFORMANCE, PATTERN)

302...MASK MANUFACTURING

303...WAFER MANUFACTURING

304...WAFER PROCESSING

25 305...DEVICE ASSEMBLY

306...INSPECTION

SHIPPING

FIG.13

FRONT-END PROCESS

311...OXIDATION

313...ELECTRODE FORMATION

314...ION IMPLANTATION

5 BACK-END PROCESS

315...RESIST FORMATION

316...EXPOSURE

317...DEVELOPMENT

318...ETCHING

10 319...RESIST REMOVAL

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-233434

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月27日

(51) Int. Cl. ^a
H01L 21/027
G03F 7/20 521

F I
H01L 21/30 516 D
G03F 7/20 521
H01L 21/30 516 B
526 A

審査請求 未請求 請求項の数13 F D. (全21頁)

(21) 出願番号 特願平10-51564

(22) 出願日 平成10年(1998) 2月17日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 今井 裕二

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

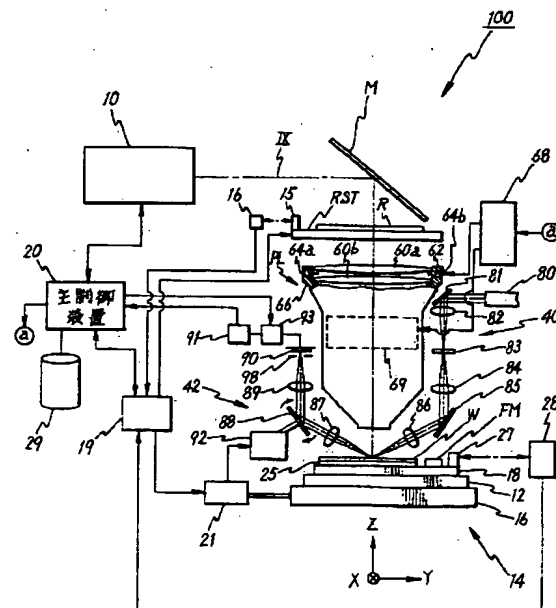
(74) 代理人 弁理士 立石 篤司 (外1名)

(54) 【発明の名称】 露光条件決定方法、露光方法、露光装置、及びデバイスの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 安定して、かつ精度良く最良露光条件を決定し、この最良露光条件によって高精度な露光を確実に実現する。

【解決手段】 様々な露光エネルギー量とフォーカス位置との組み合わせの露光条件で、測定用マスクRTに形成されたパターンを測定用感応基板WTに転写する。そして、測定用感応基板WTに転写されたパターンと予め用意されたテンプレートパターンとのパターンマッチングを行い、このパターンマッチングの結果に基づいて最良露光条件を決定する。こうして決定された最良露光条件によって、マスクRに形成されたパターンを感応基板Wに転写する。この結果、精度の良い露光を行うことができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 露光用照明光によりマスクを照射し、前記マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して感応基板に転写するための露光条件決定方法であって、測定用感応基板の被露光面上における、互いに直交する行方向と列方向とを有するマトリクス状の仮想的な区画領域に関し、同一行については前記測定用感応基板を前記投影光学系の光軸方向の同一位置とし、前記行方向については露光エネルギー量を単調に変化させるとともに、同一列については同一露光エネルギー量とし、前記列方向については前記測定用感応基板の前記光軸方向の位置を単調に変化させて、前記区画領域それぞれに測定用マスクに形成された測定用パターンを転写する第 1 工程と；前記第 1 工程においてパターンが転写された前記感応基板を現像し、現像された該感応基板上に形成された転写パターンを検出する第 2 工程と；前記第 2 工程において検出された前記区画領域それぞれの転写パターンと予め用意されたテンプレートパターンとをパターンマッチングする第 3 工程と；前記第 3 工程におけるパターンマッチングの結果に基づき、最良露光条件を求める第 4 工程とを含む露光条件決定方法。

【請求項 2】 前記区画領域それぞれは同一形状であり、前記行方向で隣接する前記区画領域間での露光エネルギー量の差は同一であることを特徴とする請求項 1 に記載の露光条件決定方法。

【請求項 3】 前記区画領域それぞれは同一形状であり、前記列方向で隣接する前記区画領域間での前記光軸方向の位置の差は同一であることを特徴とする請求項 1 に記載の露光条件決定方法。

【請求項 4】 前記測定用パターンは、前記測定用マスクの前記露光用照明光の照射領域の全域にわたって形成された周期的なパターンであることを特徴とする請求項 1 に記載の露光条件決定方法。

【請求項 5】 前記測定用パターンは、前記測定用マスクの前記露光用照明光の照射領域の一部に形成された周期的なパターンであることを特徴とする請求項 1 に記載の露光条件決定方法。

【請求項 6】 前記測定用マスクの前記測定用パターンが形成された前記露光用照明光の照射領域の一部は、該照射領域の中心点からの距離が異なる 2 以上の微小領域であることを特徴とする請求項 5 に記載の露光条件決定方法。

【請求項 7】 前記テンプレートパターンは、前記区画領域の中から選択された一つの区画領域に転写されたパターンであることを特徴とする請求項 1 に記載の露光条件決定方法。

【請求項 8】 前記テンプレートパターンは、前記測定用パターンと前記投影光学系の投影倍率とに基づいて算出されたパターンであることを特徴とする請求項 1 に記載の露光条件決定方法。

【請求項 9】 前記テンプレートパターンは、最大明度及び最小明度のいずれか一方からのみなるパターンであることを特徴とする請求項 1 に記載の露光条件決定方法。

【請求項 10】 前記最良露光条件は、前記光軸方向に関する最良フォーカス位置に関する条件及び最良露光エネルギー量に関する条件の少なくとも一方であることを特徴とする請求項 1 に記載の露光条件決定方法。

【請求項 11】 露光用照明光によりマスクを照射し、前記マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して感応基板に転写する露光方法であって、前記請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載の露光条件決定方法によって決定された最良露光条件を設定する工程と；その設定された露光条件にて前記マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して感応基板に転写する工程とを含む露光方法。

【請求項 12】 露光用照明光によりマスクを照射し、前記マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して感応基板に転写する露光装置であって、前記感応基板を前記投影光学系の光軸方向及びこれに直交する 2 次元平面内で駆動する駆動機構と；前記感応基板の前記光軸方向の位置を検出する検出系を有し、該検出系の検出結果をモニタしつつ前記駆動機構を介して前記感応基板の前記光軸方向位置を所定の目標位置に調整するフォーカス調整系と；前記露光用照明光の強度密度を変化させる光強度可変機構と；前記駆動機構及び前記光強度可変機構を用いて行われた前記請求項 1 に記載の露光条件決定方法によって決定された最良露光条件を記憶する記憶装置と；前記記憶装置に記憶された最良露光条件となるように、前記フォーカス調整系の目標位置及び前記光強度可変機構の少なくとも一方を調整する調整装置とを備える露光装置。

【請求項 13】 請求項 11 の露光方法を用いる露光工程を含むことを特徴とするデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、露光条件決定方法、露光方法、露光装置、及びデバイスの製造方法に係り、より詳細にはマスクに形成されたパターンを感応基板へ転写する際の露光条件を決定するための露光条件決定方法、その露光条件決定方法で決定された露光条件で露光を行う露光方法、その露光方法が適用される露光装置、及びその露光方法を利用した半導体素子等のデバイスの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来より、半導体素子、液晶表示素子等を製造するためのリソグラフィ工程では、マスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）に形成されたパターン（以下、「レチクルパターン」とも呼ぶ）を投影光学系を介してレジスト等が塗布されたウエハ又はガ

ラスプレート等の基板（以下、適宜「感応基板又はウエハ」という）上に転写する露光装置が用いられている。この種の装置としては、感応基板としてのウエハが搭載されたウエハステージを所定量だけ 2 次元方向に移動させて所定の露光位置へ位置決めするステップング動作と、その位置決め状態でレチクルのパターンを投影光学系を介して感応基板上のショット領域に転写する露光動作とを繰り返す静止露光型（ステップ・アンド・リピート方式ともいう）の縮小投影型露光装置（いわゆる「ステッパ」）や、このステッパを改良し、レチクル上の所定のスリット状領域を照明光で照明しながら、レチクルとウエハとを投影光学系に対して所定の走査方向に同期移動させ、レチクルパターンを投影光学系を介してウエハ上に逐次転写するステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置が実用化されている。

【0003】この種の露光装置による露光では、ウエハ上の被露光領域に照射される露光光のエネルギー量（露光ドーズ量）や、露光時において転写されるべきレチクルパターンの像面とウエハ上の被露光領域との位置関係、すなわちウエハ上の被露光領域のフォーカス誤差によって、ウエハに転写されたパターンの形状が変化することが知られている。すなわち、露光ドーズ量が少ない場合にはウエハ上の露光したい領域が十分に露光されず、露光ドーズ量が多い場合にはウエハ上の露光したくない領域まで露光されてしまう。また、ウエハ上の被露光領域がレチクルパターンの像面に一致しない（投影光学系に関するレチクルパターンの像面の焦点深度内に収っていない）、すなわちフォーカス誤差がある場合には、ウエハ上の被露光領域に形成されるレチクルパターン像はぼけたものとなってしまう、レチクルパターンの忠実な縮小像をウエハ上へ転写することができない。したがって、レチクルパターンの忠実な縮小像をウエハに転写するにあたっては、露光ドーズ量とウエハのフォーカス制御位置（以下、「フォーカス位置」と呼ぶ）とを最適化して露光を行うことが必要となる。

【0004】従来、こうした最適露光条件の検出は、所定のレチクルパターン（例えば、ライン・アンド・スペースのパターン等）をテストパターンとして、このテストパターンを様々な露光ドーズ量で様々なウエハのフォーカス位置でテスト用ウエハにテスト露光し、テスト用ウエハに転写されたパターンの状態を目視で判断することにより行っていた。すなわち、目視によって最良の転写状態と判断されたテスト露光を行った露光ドーズ量及びウエハのフォーカス位置を最良露光条件としたり、目視によって転写パターンの有無を判定し、転写パターン有りと判断された露光ドーズ量範囲の中点及びウエハのフォーカス位置範囲の中点を露光ドーズ量及びウエハのフォーカス位置を最良露光条件としたりしていた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】前述の従来の露光条件

の決定方法では、テスト露光の結果を目視で判断しているので、以下のような不都合があった。

【0006】すなわち、目視によって最良の転写状態と判断されたテスト露光から最良露光条件を求める露光条件の決定方法では、テスト露光条件を大まかに設定した場合には、テスト露光の内から最良転写状態を見出すことは容易であるが、求めた最良露光条件を精度良く求めることはできなかった。一方、テスト露光条件を細かく設定した場合には、まずテスト露光にかかる時間が長くなり生産性が悪くなる。さらに、最良露光条件の候補が多数となることが予想され、目視による人の判断によって安定して、かつ精度良く最良露光条件を判断することが困難であった。

【0007】また、目視によって転写パターン有りと判断された露光ドーズ量範囲の中点及びウエハのフォーカス位置範囲の中点から最良露光条件を求める露光条件の決定方法では、テスト露光条件を大まかに設定した場合には、テスト露光の内から転写パターンの有無を判断することは容易であるが、転写パターンの有無の真の境界がそのテスト露光条件である保証は無いので最良露光条件を精度良く求めることはできなかった。一方、テスト露光条件を細かく設定した場合には、まずテスト露光にかかる時間が長くなり生産性が悪くなる。さらに、転写パターンの有無の境界の判断が困難であり、安定して、かつ精度良く最良露光条件を判断することが困難であった。

【0008】本発明は、かかる事情の下になされたものであり、その第1の目的は、安定して、かつ精度良く最良露光条件を求めることができる露光条件決定方法を提供することにある。

【0009】また、本発明の第2の目的は、最良露光条件による高精度な露光を確実に実現できる露光方法を提供することにある。

【0010】また、本発明の第3の目的は、最良露光条件による高精度な露光を確実に実現できる露光装置を提供することにある。

【0011】また、本発明の第4の目的は、高集積度のデバイスを製造する方法を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の発明は、露光用照明光によりマスク（R）を照射し、前記マスク（R）に形成されたパターンを投影光学系（PL）を介して感応基板（W）に転写するための露光条件決定方法であって、測定用感応基板（W₁）の被露光面上における、互いに直交する行方向と列方向とを有するマトリクス状の仮想的な区画領域に関し、同一行については前記測定用感応基板（W₁）を前記投影光学系（PL）の光軸方向の同一位置とし、前記行方向については露光エネルギー量を単調に変化させるとともに、同一列については同一露光エネルギー量とし、前記列方向については前

記測定用感応基板 (W_1) の前記光軸方向の位置を単調に変化させて、前記区画領域それぞれに測定用マスクに形成された測定用パターンを転写する第 1 工程と；前記

第 1 工程においてパターンが転写された前記感応基板 (W_1) を現像し、現像された該感応基板 (W_1) 上に形成された転写パターンを検出する第 2 工程と；前記第 2 工程において検出された前記区画領域それぞれの転写パターンと予め用意されたテンプレートパターンとをパターンマッチングする第 3 工程と；前記第 3 工程におけるパターンマッチングの結果に基づき、最良露光条件を

求める第 4 工程とを含む。
 【0013】請求項 1 の露光条件決定方法では、まず、測定用感応基板上で互いに直交する行方向及び列方向をそれぞれ軸方向とする 2 次元座標において、行方向については露光エネルギー量を変化させるとともに、列方向については測定用感応基板の投影光学系の光軸方向の位置、すなわち測定用感応基板のフォーカス位置を単調に変化させて、測定用マスクに形成された測定用パターンを測定用感応基板上でマトリクス状に配列された仮想的な区画領域へ転写する (第 1 工程)。この結果、露光条件としての露光エネルギー量の変化が行方向に反映され、かつ露光条件としての測定用感応基板のフォーカス位置の変化が列方向に反映された様々なテスト露光条件によるテスト露光が、1 枚の測定用感応基板上の区画領域毎になされる。

【0014】次に、テスト露光された測定用感応基板を現像し、該測定用感応基板上の各区画領域毎に転写されたパターン (転写パターン) を検出し (第 2 工程)、これらの検出された各転写パターンと予め用意されたテンプレートパターンとをパターンマッチングし、マッチング度 (2 つのパターンの相関度) を各区画領域毎に求める (第 3 工程)。すなわち、人による目視といった官能的な手法ではなく、パターンマッチングという客観的かつ定量的な手法によって、各区画領域毎の転写状態を求める。そして、各区画領域毎に客観的かつ定量的に求められたパターンマッチングの結果に基づいて、最良露光条件を求める (第 4 工程)。

【0015】したがって、請求項 1 の露光条件決定方法によれば、テスト露光条件をむやみに細かくすることなく、安定して、かつ精度良く最良露光条件を求めることができる。

【0016】請求項 2 に記載の発明は、請求項 1 の露光条件決定方法において、前記区画領域それぞれが同一形状であり、前記行方向で隣接する前記区画領域間での露光エネルギー量の差は同一であることを特徴とする。

【0017】これによれば、露光エネルギーが等間隔の幅で定量的なパターンマッチング結果を得ることができるので、前記第 4 工程における最良露光条件の導出にあたって、処理が容易となる。

【0018】請求項 3 に記載の発明は、請求項 1 の露光

条件決定方法において、前記区画領域それぞれが同一形状であり、前記列方向で隣接する前記区画領域間での前記光軸方向の位置の差は同一であることを特徴とする。

【0019】これによれば、測定用感応基板のフォーカス位置が等間隔の幅で定量的なパターンマッチング結果を得ることができるので、前記第 4 工程における最良露光条件の導出にあたって、処理が容易となる。

【0020】請求項 1 の露光条件決定方法において、測定用マスクに形成された測定用パターンは様々考えられ、例えば請求項 4 に記載の発明のように、前記測定用パターンを、前記測定用マスク (R_1) の前記露光用照明光の照射領域の全域にわたって形成された周期的なパターンとしても良いし、あるいは請求項 5 に記載の発明のように、前記測定用パターンを、前記測定用マスク

(R_1) の前記露光用照明光の照射領域の一部に形成された周期的なパターンとしても良い。ここで、測定用マスクの露光用照明光の照射領域とは、露光用照明光が同時に照射される領域である。すなわち、ステップ・アンド・リピート方式の場合には、感応基板に転写されるパターンをマスク上での形成可能な領域であり、ステップ・アンド・スキャン方式の場合には、前述のスリット状の領域となる。

【0021】請求項 4 の露光条件決定方法によれば、測定用マスクの露光用照明光の照射領域に応じた感応基板のショット領域の全面にわたってパターンマッチングを行うことにより、ショット領域内の各位置について最良露光条件を求めることができる。

【0022】請求項 5 の露光条件決定方法によれば、パターンマッチングの演算量を低減できるので、高速にパターンマッチング結果が得られ、高速に露光条件を決定することができる。

【0023】本請求項 5 の露光条件決定方法においては、請求項 6 に記載の発明のように、前記測定用マスク (R_1) の前記測定用パターンが形成された前記露光用照明光の照射領域の一部を、該照射領域の中心点からの距離が異なる 2 以上の微小領域とすることができる。これによれば、ショット領域の中心点からの距離が異なる 2 以上の微小領域に関してパターンマッチングを行うことにより、これらの微小領域に応じた位置について最良露光条件を求めることができる。したがって、求められた最良露光条件から各微小領域毎にマスクパターンの像面を求め、これらからショット領域についてのフォーカス制御位置を決定することができる。

【0024】請求項 1 の露光条件決定方法において、前記テンプレートパターンの構成は様々考えられ、例えば請求項 7 に記載の発明のように、前記テンプレートパターンを、前記区画領域の中から選択された一つの区画領域に転写されたパターンとすることもできるし、請求項 8 に記載の発明のように、前記テンプレートパターンを、前記測定用パターンと前記投影光学系 (PL) の投

影倍率とに基づいて算出されたパターンとすることもできる。あるいは、請求項 9 に記載の発明のように、前記テンプレートパターンを、最大明度及び最小明度のいずれか一方からのみなるパターンとすることもできる。

【0025】請求項 7 の露光条件決定方法によれば、予め計算等によりテンプレートパターンを用意することを必要としないので、簡易に転写パターンの状態をパターンマッチングすることができる。なお、テンプレートパターンの選択にあたっては転写パターンの状態が最良と思われる区画領域の転写パターンを人による目視によって行うことになるが、このテンプレートパターンの選択の後にパターンマッチングという統計的な操作を行い、その結果に基づいて露光条件を決定するので、テンプレートパターンの選択における選択者の主観的な要素が解消し、安定して、かつ精度良く最良露光条件を求めることができる。

【0026】また、請求項 8 の露光条件決定方法によれば、テンプレートパターンを測定用パターンと投影光学系の投影倍率とに基づいて算出されたパターンとすることで、主観的な要素を一切排除して露光条件を決定するので、安定して、かつ精度良く最良露光条件を求めることができる。

【0027】また、請求項 9 の露光条件決定方法によれば、テンプレートパターンを最大明度及び最小明度のいずれか一方からのみなるパターンとすることで、請求項 8 の露光条件決定方法と同様に、主観的な要素を一切排除して露光条件を決定することができ、かつ、テンプレートパターンの作成にあたって一切演算を必要としないので済む。さらに、請求項 8 の露光条件決定方法の場合におけるパターンマッチング結果の露光条件による急激な変化の発生を避けることができるので、最良露光条件を求める際における閾値の設定等のオペレータの熟練度を必要とする要素を低減することができる。

【0028】請求項 1 の露光条件決定方法において、求めるべき最良露光条件としては様々考えられるが、請求項 10 に記載の発明のように、前記最良露光条件を、前記光軸方向に関する最良フォーカス位置に関する条件及び最良露光エネルギー量に関する条件の少なくとも一方とすることができる。

【0029】請求項 11 に記載の発明は、露光用照明光によりマスク (R) を照射し、前記マスク (R) に形成されたパターンを投影光学系 (PL) を介して感応基板 (W) に転写する露光方法であって、前記請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載の露光条件決定方法によって決定された最良露光条件を設定する工程と；その設定された露光条件にて前記マスク (R) に形成されたパターンを投影光学系 (PL) を介して感応基板 (W) に転写する工程とを含む。

【0030】これによれば、本発明の露光条件決定方法によって決定された最良露光条件によって、マスクに形

成されたパターンを投影光学系を介して感応基板に転写するので、精度良く感応基板を露光することができる。

【0031】請求項 12 に記載の発明は、露光用照明光によりマスク (R) を照射し、前記マスク (R) に形成されたパターンを投影光学系 (PL) を介して感応基板 (W) に転写する露光装置であって、前記感応基板

(W) を前記投影光学系 (PL) の光軸方向及びこれに直交する 2 次元平面内で駆動する駆動機構 (21) と；前記感応基板の前記光軸方向の位置を検出する検出系 (40, 42) を有し、該検出系 (40, 42) の検出結果をモニタしつつ前記駆動機構 (21) を介して前記感応基板 (W) の前記光軸方向位置を所定の目標位置に調整するフォーカス調整系 (19, 40, 42) と；前記露光用照明光の強度密度を変化させる光強度可変機構 (1, 3) と；前記駆動機構 (21) 及び前記光強度可変機構 (1, 3) を用いて行われた前記請求項 1 に記載の露光条件決定方法によって決定された最良露光条件を記憶する記憶装置 (29) と；前記記憶装置 (29) に記憶された最良露光条件となるように、前記フォーカス調整系 (19, 40, 42) の目標位置及び前記光強度可変機構 (1, 3) の少なくとも一方を調整する調整装置 (20) とを備える。

【0032】本請求項 12 の露光装置では、駆動機構、フォーカス調整系、及び光強度可変機構を使用して、測定用感応基板の被露光面上における、互いに直交する行方向と列方向とを有するマトリクス状の仮想的な区画領域に関し、同一行については測定用感応基板を投影光学系の光軸方向の同一位置とし、行方向については露光エネルギー量を単調に変化させるとともに、同一列については同一露光エネルギー量とし、列方向については測定用感応基板の前記光軸方向の位置を単調に変化させて、区画領域それぞれに測定用マスクに形成された測定用パターンを転写する。次に、これらの区画領域のそれぞれに関する転写結果と予め用意されたテンプレートとテンプレートパターンとのパターンマッチング結果に基づいて求められた最良露光条件を記憶装置に記憶する。そして、調整装置が、記憶装置に記憶された最良露光条件となるように、フォーカス調整系の目標位置及び光強度可変機構の少なくとも一方を調整して、感応基板を露光する。

【0033】したがって、請求項 12 の露光装置によれば、請求項 1 の露光条件決定方法を支援できるとともに、この請求項 1 の露光条件決定方法で決定された最良露光条件でマスクに形成されたパターンを投影光学系を介して感応基板に転写するので、精度良く感応基板を露光することができる。

【0034】請求項 13 に記載の発明は、請求項 11 の露光方法を用いる露光工程を含むことを特徴とするデバイスの製造方法である。

【0035】これによれば、請求項 11 の露光方法を用いるので、請求項 1 ～ 10 のいずれかの露光条件決定方

法で精度良く求められた最良露光条件にて、高精度の露光が行われ、高集積度のデバイスを製造することが可能となる。

【 0 0 3 6 】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る露光装置及び露光方法の一実施形態を図 1 ～ 図 1 2 に基づいて説明する。

【 0 0 3 7 】 図 1 には、一実施形態に係る露光装置 1 0 0 の概略的な構成が示されている。この露光装置 1 0 0 は、いわゆるステップ・アンド・スキャン露光方式の投影露光装置である。

【 0 0 3 8 】 この露光装置 1 0 0 は、露光用照明光を射出する照明系 1 0、マスクとしてのレチクル R を保持するマスクステージとしてのレチクルステージ R S T、投影光学系 P L、感応基板としてのウエハ W を保持して X Y 平面内を X Y 2 次元方向に移動する基板テーブル 1 8 を備えた X Y ステージ装置 1 4、及びこれらの制御系等を備えている。この制御系には、調整装置としての主制御装置 2 0 及び露光条件を記憶する記憶装置 2 9 が含まれている。

【 0 0 3 9 】 図 2 は、前記照明系 1 0 の具体的構成の一例を説明するための図である。図 2 に示されるように、この照明系 1 0 は、エキシマレーザ光源 1、ビーム整形光学系 2、エネルギー粗調器 3、フライアイレンズ 4、照明系開口絞り板 5、ビームスプリッタ 6、第 1 リレーレンズ 7 A、第 2 リレーレンズ 7 B、固定レチクルブラインド 8 A、及び可動レチクルブラインド 8 B 等を備えている。

【 0 0 4 0 】 ここで、この照明系 1 0 の上記構成各部について説明する。エキシマレーザ光源 1 としては、K r F エキシマレーザ光源（発振波長 2 4 8 n m）、A r F エキシマレーザ光源（発振波長 1 9 3 n m）、又は F₂ エキシマレーザ光源（発振波長 1 5 7 n m）等が使用される。なお、このエキシマレーザ光源 1 に代えて、金属蒸気レーザ光源や Y A G レーザの高調波発生装置等のパルス光源を露光光源として使用しても良い。

【 0 0 4 1 】 前記ビーム整形光学系 2 は、エキシマレーザ光源 1 からパルス発光されたレーザビーム L B の断面形状を、該レーザビーム L B の光路後方に設けられたフライアイレンズ 4 に効率よく入射するように整形するもので、例えばシリンダレンズやビームエキスパンダ（いずれも図示省略）等で構成される。

【 0 0 4 2 】 前記エネルギー粗調器 3 は、ビーム整形光学系 2 後方のレーザビーム L B の光路上に配置され、ここでは、回転板 3 1 の周囲に透過率（＝ 1 - 減光率）の異なる複数個（例えば 6 個）の N D フィルタ（図 1 ではその内の 2 個の N D フィルタ 3 2 A、3 2 D のみが示されている）を配置し、その回転板 3 1 を駆動モータ 3 3 で回転することにより、入射するレーザビーム L B に対する透過率を 1 0 0 % から等比級数的に複数段階で切り換

えることができるようになっている。駆動モータ 3 3 は、主制御装置 2 0 によって制御される。なお、エネルギー粗調器 3 の後方に、さらにダブルグレーティング方式の微変調器や 2 枚の光学フィルタの交差角を調整するエネルギー微変調器を配置することもできる。

【 0 0 4 3 】 前記フライアイレンズ 4 は、エネルギー粗調器 3 後方のレーザビーム L B の光路上に配置され、レチクル R を均一な照度分布で照明するために多数の 2 次光源を形成する。この 2 次光源から射出されるレーザビームを以下においては、「パルス照明光 I L」と呼ぶものとする。

【 0 0 4 4 】 前記フライアイレンズ 4 の射出面の近傍に、円板状部材から成る照明系開口絞り板 5 が配置されている。この照明系開口絞り板 5 には、等角度間隔で、例えば通常の円形開口より成る開口絞り、小さな円形開口より成りコヒーレンスファクタである σ 値を小さくするための開口絞り、輪帯照明用の輪帯状の開口絞り、及び変形光源法用に複数の開口を偏心させて配置して成る変形開口絞り（図 1 ではこのうちの 2 種類の開口絞りのみが図示されている）等が配置されている。この照明系開口絞り板 5 は、後述する調整装置としての主制御装置 2 0 により制御されるモータ等の駆動装置 5 1 により回転されるようになっており、これによりいずれかの開口絞りがパルス照明光 I L の光路上に選択的に設定される。

【 0 0 4 5 】 照明系開口絞り板 5 後方のパルス照明光 I L の光路上に、反射率が小さく透過率の大きなビームスプリッタ 6 が配置され、更にこの後方の光路上に、固定レチクルブラインド 8 A 及び可動レチクルブラインド 8 B を介在させて第 1 リレーレンズ 7 A 及び第 2 リレーレンズ 7 B から成るリレー光学系が配置されている。

【 0 0 4 6 】 固定レチクルブラインド 8 A は、レチクル R のパターン面に対する共役面から僅かにデフォーカスした面に配置され、レチクル R 上の照明領域 I A R（図 4 参照）を規定する矩形開口が形成されている。また、この固定レチクルブラインド 8 A の近傍に走査方向の位置及び幅が可変の開口部を有する可動レチクルブラインド 8 B が配置され、走査露光の開始時及び終了時にその可動レチクルブラインド 8 B を介して照明領域 I A R を更に制限することによって、不要な部分の露光が防止されるようになっている。

【 0 0 4 7 】 リレー光学系を構成する第 2 リレーレンズ 7 B 後方のパルス照明光 I L の光路上には、当該第 2 リレーレンズ 7 B を通過したパルス照明光 I L をレチクル R に向けて反射する折り曲げミラー M が配置されている。

【 0 0 4 8 】 このようにして構成された照明系 1 0 の作用を簡単に説明すると、エキシマレーザ光源 1 からパルス発光されたレーザビーム L B は、ビーム整形光学系 2 に入射して、ここで後方のフライアイレンズ 4 に効率よ

く入射するようにその断面形状が整形された後、エネルギー粗調器3に入射する。そして、このエネルギー粗調器3のいずれかのNDフィルタを透過したレーザビームLBは、フライアイレンズ4に入射する。これにより、フライアイレンズ4の射出端に多数の2次光源が形成される。この多数の2次光源から射出されたパルス照明光ILは、照明系開口絞り板5上のいずれかの開口絞りを通して後、透過率が大きく反射率が小さなビームスプリッタ6に至る。このビームスプリッタ6を透過した露光光としてのパルス照明光ILは、第1リレーレンズ7Aを経て固定レチクルブラインド8Aの矩形の開口部及び可動レチクルブラインド8Bを通過した後、第2リレーレンズ7Bを通過してミラーMによって光路が垂直下方に折り曲げられた後、レチクルステージRST上に保持されたレチクルR上の矩形の照明領域IARを均一な照度分布で照明する。

【0049】一方、ビームスプリッタ6で反射されたパルス照明光ILは、集光レンズ52を介して光電変換素子よりなるインテグレートセンサ53で受光され、インテグレートセンサ53の光電変換信号が、不図示のピークホールド回路及びA/D変換器を介して出力DSとして主制御装置20に供給される。インテグレートセンサ53としては、例えば遠紫外域で感度があり、且つエキシマレーザ光源16のパルス発光を検出するために高い応答周波数を有するPIN型のフォトダイオード等が使用できる。このインテグレートセンサ53の出力DSと、ウェハWの表面上でのパルス照明光ILの照度（露光量）との相関係数は予め求められて、主制御装置20に併設された記憶装置29内に記憶されている。

【0050】図3には、図2の照明系10の露光量制御に関連する構成部分が取り出して示されている。この図3に示されるように、エキシマレーザ光源1の内部には、レーザ共振器1a、ビームスプリッタ1b、エネルギーモニタ1c、エネルギーコントローラ1d及び高圧電源1e等が設けられている。なお、エネルギー粗調器3とエキシマレーザ光源1とで光強度可変機構が構成されている。

【0051】図3において、レーザ共振器1aからパルス的に放出されたレーザビームは、透過率が高く僅かな反射率を有するビームスプリッタ1bに入射し、このビームスプリッタ1bを透過したレーザビームLBが外部に射出される。また、ビームスプリッタ1bで反射されたレーザビームLBが光電変換素子より成るエネルギーモニタ1cに入射し、このエネルギーモニタ1cからの光電変換信号が不図示のピークホールド回路を介して出力ESとしてエネルギーコントローラ1dに供給されている。エネルギーモニタ1cの出力ESに対応するエネルギーの制御量の単位は(mJ/pulse)である。通常の発光時には、エネルギーコントローラ1dは、エネルギーモニタ1cの出力ESが、主制御装置20より供給された制御情報

TS中の1パルス当たりのエネルギーの目標値に対応した値となるように、高圧電源1eでの電源電圧をフィードバック制御する。また、エネルギーコントローラ1dは、レーザ共振器1aに供給されるエネルギーを高圧電源1eを介して制御することにより発振周波数をも変更する。すなわち、エネルギーコントローラ1dは、主制御装置20からの制御情報TSに応じてエキシマレーザ光源1の発振周波数を主制御装置20で指示された周波数に設定するとともに、エキシマレーザ光源1での1パルス当たりのエネルギーが主制御装置20で指示された値となるように高圧電源1eの電源電圧のフィードバック制御を行う。

【0052】また、エキシマレーザ光源1内のビームスプリッタ1bの外側には、主制御装置20からの制御情報に応じてレーザビームLBを遮光するためのシャッタ1fも配置されている。

【0053】図1に戻り、前記レチクルステージRST上にはレチクルRが、例えば真空吸着により固定されている。レチクルステージRSTは、レチクルRの位置決めのため、照明光学系の光軸IX（後述する投影光学系PLの光軸AXに一致）に垂直な平面内で2次的に（X軸方向及びこれに直交するY軸方向及びXY平面に直交するZ軸回りの回転方向に）微少駆動可能に構成されている。

【0054】また、このレチクルステージRSTは、不図示のレチクルベース上をリニアモータ等で構成されたレチクル駆動部（図示省略）により、所定の走査方向（ここではY軸方向とする）に指定された走査速度で移動可能となっている。このレチクルステージRSTは、レチクルRの全面が少なくとも照明光学系の光軸IXを横切ることができるだけの移動ストロークを有している。

【0055】レチクルステージRST上にはレチクルレーザ干渉計（以下、「レチクル干渉計」という）16からのレーザビームを反射する移動鏡15が固定されており、レチクルステージRSTのステージ移動面内の位置はレチクル干渉計16によって、例えば0.5~1nm程度の分解能で常時検出される。ここで、実際には、レチクルステージRST上には走査方向（Y軸方向）に直交する反射面を有する移動鏡と非走査方向（X軸方向）に直交する反射面を有する移動鏡とが設けられ、レチクル干渉計16は走査方向に1軸、非走査方向には2軸設けられているが、図1ではこれらが代表的に移動鏡15、レチクル干渉計16として示されている。

【0056】レチクル干渉計16からのレチクルステージRSTの位置情報はステージ制御系19及びこれを介して主制御装置20に送られ、ステージ制御系19では主制御装置20からの指示に応じてレチクルステージRSTの位置情報に基づいてレチクル駆動部（図示省略）を介してレチクルステージRSTを駆動する。

【0057】なお、不図示のレチクルアライメント系により所定の基準位置にレチクルRが精度良く位置決めされるように、レチクルステージRSTの初期位置が決定されるため、移動鏡15の位置をレチクル干渉計16で測定するだけでレチクルRの位置を十分高精度に測定したことになる。

【0058】前記投影光学系PLは、レチクルステージRSTの図1における下方に配置され、その光軸AX

(照明光学系の光軸IXに一致)の方向がZ軸方向とされ、ここでは両側テレストリックな光学配置となるように光軸AX方向に沿って所定間隔で配置された複数枚のレンズエレメント60a、60b、……から成る屈折光学系が使用されている。この投影光学系PLは所定の投影倍率、例えば1/5(あるいは1/4)を有する縮小光学系である。このため、照明光学系からの照明光ILによってレチクルRの照明領域IARが照明されると、このレチクルRを通過した照明光ILにより、投影光学系PLを介してその照明領域IAR内のレチクルRの回路パターンの縮小像(部分倒立像)が表面にフォトレジストが塗布されたウエハW上に形成される。

【0059】前記レンズエレメントのうち、レチクルステージRSTに最も近い一番上のレンズエレメント60aは、リング状の支持部材62により保持され、この支持部材62は、伸縮可能な駆動素子、例えばピエゾ素子64a、64b、64c(紙面奥側の駆動素子64cは図示せず)によって、3点支持されるとともに鏡筒部66と連結されている。上記の駆動素子64a、64b、64cによって、レンズエレメント60aの周辺3点を独立に、投影光学系PLの光軸AX方向に移動させることができるようになっている。すなわち、レンズエレメント60aを駆動素子64a、64b、64cの変位量に応じて光軸AXに沿って平行移動させることができるとともに、光軸AXと垂直な平面に対して任意に傾斜させることもできる。そして、これらの駆動素子64a、64b、64cに与えられる電圧が、主制御装置20からの指令に基づいて結像特性補正コントローラ68によって制御され、これによって駆動素子64a、64b、64cの変位量が制御されるようになっている。なお、図1中、投影光学系PLの光軸AXは鏡筒部66に固定されているレンズエレメント60bその他のレンズエレメント(図示省略)の光軸に一致している。

【0060】また、本実施形態においては、投影光学系PLの光軸方向中央部近傍の特定のレンズエレメント相互間には密封室69が形成されており、この密封室69の内圧が不図示の圧力調整機構(例えばペローズポンプ等)によって調整されるようになっている。この圧力調整機構も主制御装置20からの指令に基づいて結像特性補正コントローラ68によって制御され、これによって密封室69の内圧が調整されるようになっている。

【0061】ここで、レンズエレメント60aの光軸A

X方向の移動や傾斜により投影光学系PLの倍率を変更させたり、ディストーションや投影光学系PLの結像面を変更したりできる。また、投影光学系PL内部の密封室69の内圧を変化させることにより倍率や投影光学系PLの結像面を変更できる。

【0062】前記XYステージ装置14は、不図示のベース上を走査方向であるY軸方向(図1における左右方向)に往復移動可能なYステージ16と、このYステージ16上をY軸方向と直交するX軸方向(図1における紙面直交方向)に往復移動可能なXステージ12と、このXステージ12上に設けられた基板テーブル18とを有している。また、基板テーブル18上に、ウエハホルダ25が載置され、このウエハホルダ25によって感応基板としてのウエハWが真空吸着によって保持されている。

【0063】基板テーブル18は、Xステージ12上にXY方向に位置決めされかつZ軸方向の移動及び傾斜が許容された状態で取り付けられている。そして、この基板テーブル18は、異なる3点の支持点で不図示の3本の軸によって支持されており、これら3本の軸が駆動機構としてのウエハ駆動装置21によって独立してZ軸方向に駆動され、これによって基板テーブル18上に保持されたウエハWの面位置(Z軸方向位置及びXY平面に対する傾斜)が所望の状態に設定されるようになっている。

【0064】基板テーブル18上にはウエハレーザ干渉計(以下、「ウエハ干渉計」という)28からのレーザビームを反射する移動鏡27が固定され、外部に配置されたウエハ干渉計28により、基板テーブル18のXY面内での位置が例えば0.5~1nm程度の分解能で常時検出されている。

【0065】ここで、実際には、基板テーブル18上には走査方向であるY軸方向に直交する反射面を有する移動鏡と非走査方向であるX軸方向に直交する反射面を有する移動鏡とが設けられ、ウエハ干渉計28は走査方向に1軸、非走査方向には2軸設けられているが、図1ではこれらが代表的に移動鏡27、ウエハ干渉計28として示されている。基板テーブル18の位置情報(又は速度情報)はステージ制御系19及びこれを介して主制御装置20に送られ、ステージ制御系19では主制御装置20からの指示に応じて前記位置情報(又は速度情報)に基づいてウエハ駆動装置21(これは、Xステージ12、Yステージ16の駆動系及び基板テーブル18の駆動系の全てを含む)を介してYステージ16、Xステージ12を制御する。

【0066】また、基板テーブル18上には、不図示のオフアクシス方式のアライメント検出系の検出中心から投影光学系PLの光軸までの距離を計測するベースライン計測等のための各種基準マークが形成された基準マーク板FMが固定されている。

【0067】更に、図1の装置には、ウエハW表面の露光領域IA（前述した照明領域IARに共役なウエハW上の領域：図4参照）内部分及びその近傍の領域のZ方向（光軸AX方向）の位置を検出するための斜入射光式のフォーカス検出系（焦点検出系）の一つである、多点フォーカス位置検出系が設けられている。この多点フォーカス位置検出系は、図1に示されるように、光ファイバ束80、ミラー81、集光レンズ82、パターン形成板83、レンズ84、ミラー85及び照射対物レンズ86から成る照射光学系40と、集光対物レンズ87、回転方向振動板88、結像レンズ89、受光用スリット板98及び多数のフォトセンサを有する受光器90から成る受光光学系42とから構成されている。この多点フォーカス位置検出系の詳細な構成等については、例えば特開平6-283403号公報に開示されている。

【0068】ここで、この多点フォーカス位置検出系（40、42）の構成各部について、その作用とともに説明する。露光光とは異なるウエハW上のフォトレジストを感光させない波長の照明光が、図示しない照明光源から光ファイバ束80を介して導かれている。光ファイバ束80から射出された照明光は、ミラー81及び集光レンズ82を経てパターン形成板83を照明する。

【0069】このパターン形成板83上には不図示の複数のスリット状の開口パターンがマトリクス状配置で形成されている。このパターン形成板83の各スリット状の開口パターンを透過した照明光（開口パターンの像光束）は、レンズ84、ミラー85及び照射対物レンズ86を経てウエハWの被露光面に投影され、ウエハWの被露光面にはパターン形成板83上のスリット状の開口パターンの像が投影結像される。これら開口パターンの一部はウエハWの露光領域IA（図4参照）内に結像され、また開口パターンの他の一部はウエハWの露光領域IAの外に結像される。

【0070】そして、ウエハWの被露光面からの反射光束が、光軸AXに対して前記照射光学系40からの像光束と対称に所定角度だけ傾斜した方向に進んで、集光対物レンズ87、回転方向振動板88及び結像レンズ89を経て受光器90の手前側に配置された受光用スリット板98上に再結像される。この再結像された像が受光器90で検出され、センサ選択回路93を介して信号処理装置91により、回転振動周波数の信号で同期検波される。この信号処理装置91により同期検波して得られた多数のフォーカス信号が主制御装置20に供給される。

【0071】こうして同期検波して得られた多数のフォーカス信号が主制御装置20に供給される。そして、主制御装置20は、ウエハWの露光領域IAの外に結像された開口パターンに関するフォーカス信号を、次のフォーカス状態を予測、すなわちウエハW表面が+Z方向又は-Z方向のいずれの方向に変化するかわりレベリングに関する予測のために用いる。こうして行った予測とともに

に、ウエハWの照明領域IA内に結像された開口パターンに関するフォーカス信号に基づいて、ステージ制御系19及びウエハ駆動装置21によって、ウエハWの露光領域IAのフォーカス合わせやレベリング調整が行われる。なお、多点フォーカス位置検出系（40、42）及びステージ制御系19からフォーカス調整系が構成されている。

【0072】また、図1の装置には、投影光学系PLの側面に配置され、ウエハW上に形成された位置検出用マーク（アライメントマーク）を観測する結像アライメントセンサから成る不図示のオフ・アクシス方式のアライメント顕微鏡と、このアライメント顕微鏡の観測結果及びウエハ干渉計28からのウエハWの位置情報を入力し、ウエハW上における位置検出用マークの位置を求める不図示の画像処理装置とを備えている。この画像処理装置で求められた位置検出用マークの位置は、主制御装置20に供給される。

【0073】本実施形態の露光装置100においては、図4に示されるように、レチクルRの走査方向（Y軸方向）に対して垂直な方向に長手方向を有する長方形（スリット状）の照明領域IARでレチクルRが照明され、レチクルRは露光時に-Y方向に速度 V_r で走査（スキャン）される。照明領域IAR（中心は光軸AXとほぼ一致）は投影光学系PLを介してウエハW上に投影され、照明領域IARに共役なスリット状の投影領域、すなわち露光領域IAが形成される。ウエハWはレチクルRとは倒立結像関係にあるため、ウエハWは速度 V_r の方向とは反対方向（+Y方向）にレチクルRに同期して速度 V_s で走査され、ウエハW上のショット領域SAの全面が露光可能となっている。走査速度の比 V_s/V_r は正確に投影光学系PLの縮小倍率に応じたものになっており、レチクルRのパターン領域PAのパターンがウエハW上のショット領域SA上に正確に縮小転写される。照明領域IARの長手方向の幅は、レチクルR上のパターン領域PAよりも広く、遮光領域STの最大幅よりも狭くなるように設定され、走査（スキャン）することによりパターン領域PA全面が照明されるようになっている。

【0074】この走査型露光装置100では、上記の走査露光の際に、不図示のアライメント検出系の検出信号に基づいて主制御装置20によりステージ制御系19及びウエハ駆動装置21等を介してレチクルRとウエハWとの位置合わせ（アライメント）が行なわれ、また、多点フォーカス位置検出系（40、42）の検出信号に基づいて、レチクルRのパターン面とウエハW表面とが投影光学系PLに関して共役となるように、かつ投影光学系PLの結像面とウエハW表面とが一致する（ウエハ表面が投影光学系PLの最良結像面の焦点深度の範囲内に入る）ように、主制御装置20によりステージ制御系19及びウエハ駆動装置21を介して基板テーブル18が

Z 軸方向及び傾斜方向に駆動制御されて面位置の調整（合わせ面の設定）が行なわれる。

【0075】次に、上述の露光装置 100 に関する露光条件決定方法を説明する。この露光条件決定方法の説明に先立って、本実施形態における最良露光条件の検出の原理の概略を、図 5 に基づいて説明する。図 5 (A) に示されるように、レチクル R には、強度（露光エネルギー）I の露光用照明光 I_L が照射されており、ウエハ W は投影光学系 P L の光軸 A X 方向（すなわち、Z 方向）の位置 Z に配置されている。また、図 5 (B) にはレチ

$$LW = \beta \cdot LR$$

$$LWP = 2 \beta \cdot LR$$

であるが、露光エネルギー I やウエハ W の Z 方向の位置 Z（フォーカス位置）が変化すると、(2) 式の関係は維持されるがパターン PW のライン幅 PW が変化するので、(1) 式の関係を満たすとは限らない。すなわち、ライン幅 LW は、露光エネルギー I 及びフォーカス位置 Z の関数 LW (I, Z) である。このため、(1) 式の関係を満たすとともに、露光エネルギー I やフォーカス位置 Z の変化によって、(1) 式の関係からのずれの度合いが最も小さいことによって定義される最良露光条件 (I₀, Z₀) を設定するためには、露光エネルギー I やフォーカス位置 Z を調整することが必要である。

【0077】ところで、ウエハ W に転写されたライン幅 LW と理想的なライン幅 L T (= $\beta \cdot LR$) との差の値 | ΔL | を考えると、露光条件 (I, Z) が最良露光条件 (I₀, Z₀) から離れると大きくなる。すなわち、露光条件 (I, Z) が最良露光条件 (I₀, Z₀) から離れると、実際の転写パターン形状は理想的な転写パターン形状から離れる。例えば、理想的な転写パターンをテンプレートパターンとし、これと実際の転写パターンとのパターンマッチングをした場合、露光条件 (I, Z) が最良露光条件 (I₀, Z₀) から離れると、相関係数が小さくなる。

【0078】したがって、例えば、以下の手順を実行することにより、最良露光条件を決定することができる。簡単に説明すると、レチクル R に形成された測定用パターン P R を、様々な露光エネルギー I 及びフォーカス位置 Z の組み合わせの露光条件で露光を行い、ウエハ W に転写する。次に、各露光条件でウエハ W に転写された各パターン P W を測定してテンプレートパターンとのパターンマッチングを行い、各露光条件毎に例えば相関係数を求める。そして、求めた相関係数の 2 次元座標 (I, Z) における分布を求めた後、相関係数 C の閾値を設定して、その閾値となる 2 次元座標 (I, Z) の座標値が形成する図形に基づいて、最良露光条件 (I₀, Z₀) を求める。

【0079】なお、この手順において、相関係数に代えて上述の値 | ΔL | を使用することも考えられるが、値

ス・マーク：以下、「L/S マーク」と呼ぶ) P R の概念図が示され、図 5 (C) にはウエハ W 上に転写されたパターン (L/S マーク) P W の概念図が示されている。ここで、図 5 (B) に示されるように、レチクル R に形成されたパターン P R は、ライン幅 L R、配列周期 2 L R の L/S マークであるとする、ウエハ W に転写されるパターン P W は、図 5 (C) に示されるように、ライン幅 L W、配列周期 L W P を有する L/S マークとなる。

【0076】理想的な露光では、投影光学系 P L の投影倍率を β とすると、

$$\dots (1)$$

$$\dots (2)$$

| ΔL | を用いた場合には、ライン幅 L W の計測にあたって、個々のライン幅毎の微妙な変化を検出するには非常に精密な計測が必要となるが、テンプレートパターンとのパターンマッチングでは、ウエハ W に転写されたパターン P W を一括して取り扱うことにより、ウエハ W に転写されたパターン P W の変化を精度良く検出できる。すなわち、測定精度の観点からは、値 | ΔL | よりも相関係数を使用する方が有利である。

【0080】以下、図 6 ~ 図 11 を参照して、本実施形態における最良露光条件の検出についてより詳細に説明する。図 6 及び図 7 には、本実施形態における最良露光条件の検出のフローチャートが示されている。

【0081】まず、図 6 のステップ 201 において、不図示のレチクルロードによって、基準情報収集用のレチクル R_r がレチクルステージ R S T にロードされる。図 8 には、本実施形態で使用される基準情報収集用のレチクル R_r に形成されたパターン構成が示されている。レチクル R_r には、図 8 (A) に示されるように、レチクル R_r のパターン領域 P A の中央部及び四隅部に計 5 個のマーク R M が形成されている。また、マーク R M の形成領域以外のパターン領域 P A は遮光パターンとなっている。各マーク R M は、図 8 (B) に示されるように、ライン幅 L R_i、ライン長 L R_i のラインがライン幅方向へ周期 2 L R_i で配列された L/S マークである。

【0082】図 6 に戻り、引き続き、ステップ 203 において、不図示のウエハロードによって、計測用ウエハ W_r が基板テーブル 18 にロードされる。

【0083】次に、ステップ 205 において、露光エネルギーが初期値 (= I₁) となるように設定される。なお、本実施形態では、露光条件の決定にあたって、露光エネルギーを I₁ から ΔI 刻みで I_N (N = 例えば 6) まで変化させる。この露光エネルギーの設定は、図 2 の露光エネルギーの粗調器 3 又は光源 1 によって行われる。すなわち、粗調器 3 による露光エネルギーの調整はレーザビーム L B の透過率を変化させることによって行われる。一方、図 3 のエネルギーコントローラ 1 c の出力 E S とインテグレートセンサ 5 3 の出力 D S との相関係数は予め求

められており、この相関関係に基づいて、光源 1 による露光エネルギーの調整はレーザビーム L B の 1 パルス当たりのエネルギーを変化させることによって行われる。なお、光源 1 による露光エネルギーの調整は、シャッタ 1 f によってレーザビーム L B が遮断された状態で行われる。

【0084】次いで、ステップ 207 において、主制御装置 20 が、ステージ制御系 19 に、走査露光におけるウエハ W_i の Z 方向の位置合わせに関する目標位置（以後、「Z 位置」又は「フォーカス位置」と呼ぶ）が初期値（ $=Z_i$ ）であることを通知する。なお、本実施形態では、露光条件の決定にあたって、Z 位置を Z_i から ΔZ 刻みで Z_M （ M =例えば 6）まで変化させる。

【0085】引き続き、ステップ 209 において、ウエハ W_i の被露光面の区画領域 DA_{ij} （ $i=1 \sim M$, $j=1 \sim N$ ）の内の区画領域 DA_{ij} にレチクル R 上のマーク RM が転写される走査開始位置に基板テーブル 18 が移動される。この移動は、主制御装置 20 によりステージ制御系 19 及びウエハ駆動装置 21 等を介して行われる。図 9 及び図 10 には、ウエハ W 上における区画領域 DA_{ij} の配列が示されている。ウエハ W の表面は、図 9（A）に示されるように、レチクル R のパターン領域 P A に応じた複数のショット領域 S A に分割されている。このショット領域内には、図 9（B）に示されるように、以後の計測用露光で転写される 5 個のマークに応じた 5 個の領域 D A が存在する。これらの領域 D A のそれぞれは、マトリクス状に仮想的に分割されており、これらの分割された領域が、1 つマーク RM が 1 回の走査露光によって転写される区画領域 DA_{ij} となっている。また、区画領域 DA_{ij} は、図 10 に示されるように、+X 方向が行方向（ j の増加方向）であり、+Y 方向が列方向（ i の増加方向）であるマトリクス状にウエハ W_i 上に配列されている。

【0086】図 6 に戻り、次に、ステップ 211 において、上記で図 4 を参照して説明したようにレチクル R_i とウエハ W_i とを同期移動させて、前記照明領域 I A R の共役領域 I A がショット領域 S A にかかり始める直前に前記シャッタ 1 f を開き、ウエハ W_i の被露光面のショット領域についての走査露光を実行する。この走査露光中では、多点フォーカス位置検出系（40、42）の検出信号に基づいて、主制御装置 20 によりステージ制御系 19 及びウエハ駆動装置 21 を介して基板テーブル 18 が Z 軸方向の位置合わせ目標位置が Z_i となるように Z 軸方向に駆動制御されるとともに、傾斜方向に駆動制御されて面位置の調整（合わせ面の設定）が行なわれる。そして、前記照明領域 I A R の共役領域 I A が区画領域 DA_{ij} から離脱した直後に前記シャッタ 1 f を閉じる。

【0087】ステップ 211 が終了すると、ステップ 213 において、露光エネルギーを一定とした状態で、所定

の Z 位置範囲に応じた区画領域に関する転写が完了したか否かが判断される。以上では区画領域 DA_{ij} についてだけマーク RM が転写されただけなので、所定の Z 位置範囲について走査露光がなされていないと判断される。そして、ステップ 215 において、主制御装置 20 が、ステージ制御系 19 に走査露光におけるウエハ W_i の Z 位置が Z_i であることを通知する。引き続き、ステップ 209 において、前述のようにして、区画領域 DA_{ij} へマーク RM が転写される走査開始位置に基板テーブル 18 が移動される。このとき、レチクル R_i は走査開始位置に戻される。そして、ステップ 211 において、区画領域 DA_{ij} の場合と同様にして、区画領域 DA_{ij} に関するマーク RM の転写のための走査露光が行われる。

【0088】以後、ステップ 213 において、所定の Z 位置範囲について走査露光がなされたと判断されるまで、区画領域 DA_{ij} （ $i=3 \sim M$ ）に関するマーク RM の転写のための走査露光が順次実行される。こうして、走査露光における露光エネルギー量が I_i である場合について、ウエハ W_i の被露光面へレチクル R_i に形成されたパターンが転写される。ステップ 213 において、所定の Z 位置範囲について走査露光がなされたと判断されると、次に、ステップ 217 において、所定の露光エネルギー範囲についての区画領域に関する露光が完了したか否かが判断される。以上では区画領域 DA_{ij} （ $i=1 \sim M$ ）だけにマーク RM の転写が行われただけなので、所定の露光エネルギー範囲について走査露光がなされていないと判断され、ステップ 219 において、ステップ 205 と同様にして、露光エネルギーが I_i となるように設定される。

【0089】次いで、露光エネルギーが I_i の場合と同様にして、ステップ 207 において、主制御装置 20 が、ステージ制御系 19 に、走査露光におけるウエハ W_i の Z 位置が Z_i であることを通知した後、ステップ 209 ～ステップ 215 が繰り返して実行され、区画領域 DA_{ij} に関するマーク RM の転写のための走査露光が行われる。

【0090】以後、ステップ 217 において、所定の露光エネルギー範囲について走査露光がなされたと判断されるまで、区画領域 DA_{ij} （ $i=1 \sim M$, $j=3 \sim N$ ）に関するマーク RM の転写のための走査露光が順次実行される。こうして、所定の露光エネルギー範囲についてウエハ W_i の被露光面へレチクル R_i に形成されたパターンが転写される。この結果区画領域 DA_{ij} の全てについてマーク MR が転写される。ステップ 217 において、所定の露光エネルギー範囲について走査露光がなされたと判断されると、次に、サブルーチン 221 において、各区画領域 DA_{ij} に転写されたパターンとテンプレートパターンとのパターンマッチングが行われる。

【0091】図 7 には、サブルーチン 221 のフローチャートが示されている。図 7 に示されるように、サブ

一チン 2 2 1 では、まず、ステップ 2 2 7 において、基板テーブル 1 8 (図 1 参照) からアンロードされ、引き続き、ステップ 2 2 9 において、ウエハ W_i が現像される。次に、ステップ 2 3 1 において、現像されたウエハ W_i 上の各区画領域 DA_i に形成された転写パターンが顕微鏡を介して CCD 等によって撮像され、撮像結果データが計算機に取り込まれる。このデータ取り込みには、先に説明した本実施形態の露光装置 1 0 0 に更に顕微鏡、CCD を装備された露光装置を使用してもよく、あるいは顕微鏡等及び計算機を備える別の装置で行って

【0 0 9 2】次いで、ステップ 2 3 3 において、テンプレートパターンを設定する。ここで、テンプレートパターンとしては、レチクル R_i に形成されたパターンと投影光学系 PL の投影倍率とに基づいて算出された理想的な転写パターンとすることもできるし、また、区画領域 DA_i に転写されたパターンの中から選択されたパターンとすることもできる。このパターンの選択にあたっては、区画領域 DA_i に転写されたパターンの中で最も理想的なパターンに近いと人によって判断されたパターンとすることもできるし、また、設計上の観点からの最良露光エネルギー及び最良フォーカス位置に最も近い露光条件で露光した区画領域に転写されたパターンとすることもできる。引き続き、ステップ 2 3 5 において、各区画領域 DA_i に転写されたパターンとテンプレートパターンとのパターンマッチングを行い相関係数を各区画領域 DA_i 毎に求める。そして、ステップ 2 3 7 において、こうして求められた各区画領域 DA_i 毎の相関係数 C_i を保存し、メインルーチンへリターンする。

【0 0 9 3】次に、図 6 に戻って、ステップ 2 2 3 において、以下のようにして、ショット領域 SA 内の 5 つの領域 DA 毎に、最良露光条件である最良露光エネルギー及び最良フォーカス位置を求める。まず、1 つの領域 DA について、露光エネルギー I 及びフォーカス位置 Z の 2 次元座標 (I, Z) を考え、座標値 (I_i, Z_i) における相関係数 C_i をプロットすることにより、相関係数の分布を得る。なお、前述の測定用ウエハ W_i の露光にあつては、区画領域 DA_i を同一の大きさとし、かつ、行方向で隣接する区画領域間の露光エネルギーの差を一定値 $(=\Delta I)$ とし、列方向で隣接するフォーカス位置の差を一定値 $(=\Delta Z)$ としたので、ウエハ W_i 上の区画領域 DA_i の配列がそのまま 2 次元座標 (I, Z) における座標値 (I_i, Z_i) の配列に一致している。

【0 0 9 4】次に、こうして得られた相関係数 C_i の分布に基づいて最良露光条件を求めるのであるが、これにはいくつかの手法が考えられる。例えば、第 1 の手法では、相関係数の閾値を設定し、その閾値よりも大きな相関係数の区画領域では転写パターン有りとし、一方その閾値よりも小さな相関係数の区画領域では転写パターン無しと判定する。図 1 1 に、この判定結果の一例を示

す。なお、図 1 1 においては、転写パターン無しと判定された区画領域を白抜き領域として示し、転写パターン有りと判定された区画領域をハッチ領域として示した。そして、転写パターン有りと判定された区画領域の内、転写パターン無しと判定された区画領域と隣接する区画領域を抽出し、それら抽出された区画領域の座標値を求める。こうして求められた座標値から、例えば最小二乗法によって、2 次元座標 (I, Z) における近似曲線を求める。この近似曲線に基づいて、最良露光エネルギー I_0 及び最良フォーカス位置 Z_0 を決定する。ここで、最良露光エネルギー I_0 を、前記近似曲線において、露光エネルギー I を独立変数とみなし、特定のフォーカス位置の値とフォーカス位置 Z と差 δZ を従属変数とみなしたとき、 δZ の値が最大値 (又は、 δZ の値が最小値) となる露光エネルギーの値を最良エネルギー I_0 として求めてもよい。また、最良フォーカス位置 Z_0 を、前記近似曲線において、フォーカス位置 Z を独立変数とみなし、特定の露光エネルギーの値と露光エネルギー I と差 δI を従属変数とみなしたとき、 δI の値が最大値 (又は、 δI の値が最小値) となるフォーカス位置の値を最良フォーカス位置 Z_0 として求めてもよい。

【0 0 9 5】第 2 の手法では、前記第 1 の手法の近似曲線において、従属変数の複数の閾値を設定し、該従属変数がその閾値となる独立変数の値の midpoint を各閾値毎に求める。そして、これら midpoint の平均値から独立変数に選んだ露光条件のパラメータの最良値を求める。これによれば、確実に 1 つの値を最良値として決定することができる。この他第 3 の手法として、2 次元座標値 (I_i, Z_i) に対する相関係数 C_i から、近似曲面 (すなわち、 $C(I, Z)$) を求め、この近似曲面において相関係数が最大となる露光エネルギーの値及びフォーカス位置の値を最良露光エネルギー及び最良フォーカス位置として、最良露光条件を求めてもよい。

【0 0 9 6】以後、上記と同様にして、他の領域 DA のそれぞれについて最良露光条件を求める。こうして、各領域 DA のショット領域 SA 内の位置毎の最良露光条件が求まる。

【0 0 9 7】以上のようにしてステップ 2 2 3 において求められた最良露光条件を、ステップ 2 2 5 において、記憶装置 2 9 に記憶する。こうして、主観的な要素を排除し、安定して、かつ精度良く最良露光条件を求めることができる。

【0 0 9 8】次に、デバイス製造の場合における、本実施形態の走査型露光装置 1 0 0 による露光動作を説明する。

【0 0 9 9】まず、レチクルローダにより、転写したいパターンが形成されたレチクル R がレチクルステージ RST にロードされる。同様に、ウエハローダにより、露光したいウエハ W が基板テーブル 1 8 にロードされる。

【0 1 0 0】次に、主制御装置 2 0 により、不図示のレ

チクル顕微鏡、基板テーブル 1 8 上の基準マーク板 F M、不図示のアラインメント検出系を用いてレチクルアラインメント、ベースライン計測、アラインメント検出系を用いて E G A (エンハンスト・グローバル・アラインメント) 等のアラインメント計測等の準備作業が所定の手順に従って必要に応じて行われる。

【0101】この露光動作にあたって、まず、ウエハ W の X Y 位置が、ウエハ W 上の最初のショット領域 (ファースト・ショット) の露光のための走査開始位置となるように、基板テーブル 1 8 が移動される。この移動は、主制御装置 2 0 によりステージ制御系 1 9 及びウエハ駆動装置 2 1 等を介して行われる。同時に、レチクル R の X Y 位置が、走査開始位置となるように、レチクルステージ 1 8 が移動される。この移動は、主制御装置 2 0 によりステージ制御系 1 9 及び不図示のレチクル駆動部等を介して行われる。

【0102】こうして、ウエハ W 及びレチクル R がそれぞれの走査開始位置に移動し、同期移動する前に、主制御装置 2 0 は、記憶装置 2 9 から最良露光条件である最良露光エネルギー I₁ 及び最良フォーカス位置 Z₁ を読み出す。そして、主制御装置 2 0 は、読み出した最良露光エネルギー I₁ に基づいて、光源 1 及び粗調器 3 を制御して露光用照明光のエネルギーを I₁ に調整するとともに、読み出した最良フォーカス位置 Z₁ を目標フォーカス位置として、ステージ制御系 1 9 へ通知する。

【0103】そして、ステージ制御系 1 9 が、レチクル干渉計 1 6 によって計測されたレチクル R の X Y 位置情報、ウエハ干渉計 2 8 によって計測されたウエハ W の X Y 位置情報、及び第 1 速度情報に基づき、不図示のレチクル駆動部及びウエハ駆動装置 2 1 を介してレチクル R とウエハ W とを相対移動させる。この相対移動とともに走査露光が行われる。

【0104】また、ステージ制御系 1 9 は、多点フォーカス位置検出系 (4 0, 4 2) によって検出されたウエハの Z 位置情報に基づき、ウエハ駆動装置 2 1 を介して基板テーブル 1 8 を Z 軸方向及び傾斜方向に駆動制御して面位置の調整を行う。

【0105】以上のように制御されながら行われる走査露光により、ファーストショット領域に対するレチクルパターンの転写が終了すると、基板テーブル 1 8 が 1 ショット領域分だけステッピングされて、前ショット領域と同様に走査露光が行われる。なお、前記シャッタ 1 f の開閉は、前述と同様のタイミングで行われる。

【0106】以後、このようにして、ステッピングと走査露光とが順次繰り返され、ウエハ W 上に必要なショット数のパターンが転写される。したがって、本実施形態によれば、精度良く求められた最良露光条件によって走査露光を行うことができ、高精度な露光を行うことができる。

【0107】次に、上記説明した走査型露光装置及び方

法を使用したデバイスの製造方法の実施形態を説明する。

【0108】図 1 2 には、デバイス (IC や L S I 等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等) の製造例のフローチャートが示されている。図 1 2 に示されるように、まず、ステップ 3 0 1 (設計ステップ) において、デバイスの機能・性能設計 (例えば、半導体デバイスの回路設計等) を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップ 3 0 2 (マスク製作ステップ) において、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ 3 0 3 (ウエハ製造ステップ) において、シリコン等の材料を用いてウエハを製造する。

【0109】次に、ステップ 3 0 4 (ウエハ処理ステップ) において、ステップ 3 0 1 ~ ステップ 3 0 3 で用意したマスクとウエハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップ 3 0 5 (デバイス組立ステップ) において、ステップ 3 0 4 で処理されたウエハを用いてデバイス組立を行う。このステップ 3 0 5 には、ダイシング工程、ボンディング工程、及びパッケージング工程 (チップ封入) 等の工程が必要に応じて含まれる。

【0110】最後に、ステップ 3 0 6 (検査ステップ) において、ステップ 3 0 5 で作製されたデバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。

【0111】図 1 3 には、半導体デバイスの場合における、上記ステップ 3 0 4 の詳細なフロー例が示されている。図 1 3 において、ステップ 3 1 1 (酸化ステップ) においてはウエハの表面を酸化させる。ステップ 3 1 2 (CVD ステップ) においてはウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ 3 1 3 (電極形成ステップ) においてはウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ 3 1 4 (イオン打込みステップ) においてはウエハにイオンを打ち込む。以上のステップ 3 1 1 ~ ステップ 3 1 4 それぞれは、ウエハ処理の各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

【0112】ウエハプロセスの各段階において、上述の前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップ 3 1 5 (レジスト形成ステップ) において、ウエハに感光剤を塗布する。引き続き、ステップ 3 1 6 (露光ステップ) において、上記説明した露光装置及び露光方法によってマスクの回路パターンをウエハに転写する。次に、ステップ 3 1 7 (現像ステップ) においては露光されたウエハを現像し、ステップ 3 1 8 (エッチングステップ) において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップ 3 1 9 (レジスト除去ステップ) において、エッチ

ングが済んで不要となったレジストを取り除く。

【0113】これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【0114】以上のような、本実施形態のデバイス製造方法を用いれば、従来は製造が難しかった高集積度のデバイスを製造することができる。

【0115】本実施形態では、測定用のレチクル R_1 に形成されるパターンとして L/S パターンを使用した10
が、 L/S パターンと同様に実際の回路パターンに近く、画像処理が容易な周期的なドット・パターンを使用することもできる。なお、いずれのパターンを使用するとしても、対象とする露光装置が転写可能な最小線幅近傍あるいは最小面積近傍の周期的なパターンとすることが望ましい。

【0116】また、本実施形態においては、測定用のレチクル R_1 に形成されるパターンを中央部及び四隅部の5箇所に形成されたマーク MR で構成したが、最良露光条件を求める所望の位置分解能に応じて、マーク MR を測定用のレチクル R_1 に形成することが可能である。20

【0117】さらに、測定用のレチクル R_1 に形成されるパターンとして同一周期方向の L/S パターンを使用した10
が、互いに近接した位置に形成された縦線、横線、斜め線等の複合 L/S パターンとすることもできる。この場合には、アス収差等の収差測定も可能となる。

【0118】また、本実施形態では、テンプレートパターンとのパターンマッチングとして相関係数を算出するパターンマッチングを使用した10
が、例えばパターン間の差分を算出するパターンマッチングを使用してもよい。この場合には、最良露光条件でパターンマッチング結果が最小となり、最良露光条件から離れる程パターンマッチング結果が大きくなるが、この点を考慮すれば本実施形態と同様にして最良露光条件を決定することができる。

【0119】さらに、テンプレートパターンを最大明度及び最小明度のいずれか一方からのみなるパターンとすることができる。この場合にも、パターンマッチング結果の露光エネルギー及びフォーカス位置に対する依存性を調べることにより最良露光条件を決定することができる。例えば、本実施形態における最良露光条件を求める第1の手法をそのまま使用することにより、最良フォーカス位置を決定することができるし、また、同一露光エネルギーのときのフォーカス位置変化によってパターンマッチング結果が極値となるフォーカス位置を各露光エネルギーについて求め、前記極値の種類が極大値から極小値に変化する露光エネルギー値を最良露光エネルギーとして求めることができる。

【0120】また、本実施形態では、ウエハの Z 位置を変化させて露光することにより、最良フォーカス位置を求めたが、図1の投影光学系 PL の結像面位置を主制御

装置20が結像特性補正コントローラ68を介して変化されることによって、最良結像条件を求めることも可能である。この場合には、最良露光条件の設定のためには、主制御装置20が結像特性補正コントローラ68を介して投影光学系 PL の結像特性を調整することになる。

【0121】また、本実施形態では、光源としてエキシマレーザ光源を使用した10
が、超高圧水銀ランプからの紫外域の輝線（ g 線、 i 線等）等を用いても良い。この場合には、ランプ出力制御、 ND フィルタ等の減光フィルタ、光量絞り等によって露光エネルギーの調整を行えば良い。

【0122】また、本発明は、紫外線を光源にする縮小投影露光装置、波長10nm前後の軟X線を光源にする縮小投影露光装置、波長1nm前後を光源にするX線露光装置、EB（電子ビーム）やイオンビームによる露光装置などあらゆるウエハ露光装置、液晶露光装置等に適用できる。また、ステップ・アンド・リピート機、ステップ・アンド・スキャン機、ステップ・アンド・スティッチング機を問わない。

【0123】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、請求項1～10に係る露光条件決定方法によれば、様々な露光エネルギー量とフォーカス位置との組み合わせの露光条件で、マスクに形成されたパターンを感応基板上に転写する。そして、感応基板上に転写されたパターンと予め用意されたテンプレートパターンとのパターンマッチングを行い、このパターンマッチングの結果に基づいて最良露光条件を決定するので、主観的な要素を排除でき、安定して、かつ精度良く最良露光条件を決定することができる。

【0124】また、請求項11に係る露光方法によれば、請求項1～10のいずれかに係る露光条件決定方法で決定された最良露光条件によって、マスクに形成されたパターンを感応基板上に転写するので、精度の良い露光ができる。

【0125】また、請求項12に係る露光装置によれば、記憶装置に記憶された、請求項1に係る露光条件決定方法で決定された最良露光条件に基づいて、マスクに形成されたパターンを感応基板上に転写するので、精度の良い露光ができる。

【0126】請求項13に記載のデバイスの製造方法によれば、露光工程において、請求項11に係る露光方法を用いるので、従来は製造が難しかった高集積度のデバイスを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態の露光装置の概略構成を示す図である。

【図2】図1の照明系10の具体的構成の一例を説明するための図である。

【図 3】図 2 の照明系 1 0 の露光量制御に関連する部分を説明するための図である。

【図 4】図 1 の装置の走査露光の原理を説明するための図である。

【図 5】一実施形態における露光条件決定の原理を説明するための図（その 1）である（（A）～（C））。

【図 6】一実施形態の露光条件決定のフローチャートである。

【図 7】図 6 のサブルーチン 2 2 1 のフローチャートである。

【図 8】レチクル R_r に形成されたパターンを説明するための図である（（A）、（B））。

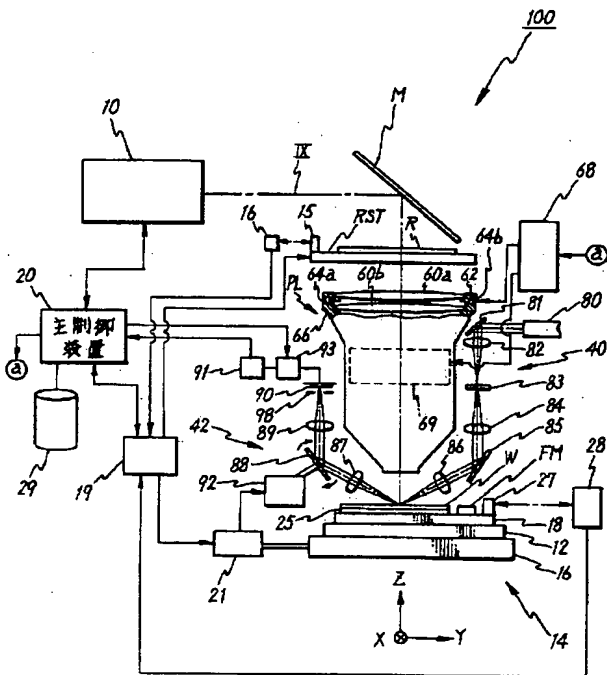
【図 9】ウエハ W_r 上の区画領域の配置を説明するための図である（（A）、（B））。

【図 1 0】区画領域の配列を説明するための図である。

【図 1 1】露光エネルギー I 及びフォーカス位置 Z の変化による転写パターンの状態を説明するための図である。

【図 1 2】本発明に係るデバイス製造方法の実施形態を説明するためのフローチャートである。

【図 1】

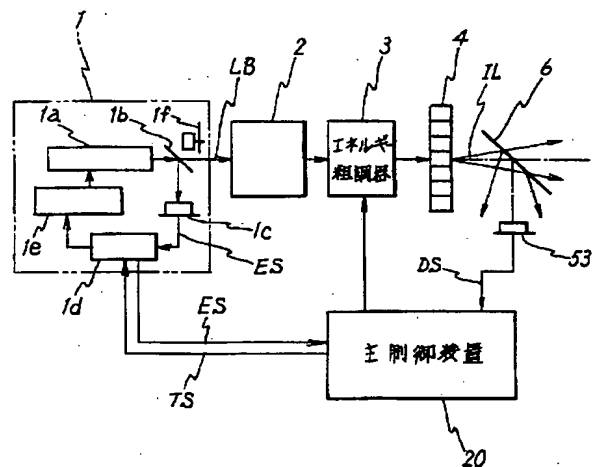


【図 1 3】図 1 2 のステップ 3 0 4 における処理のフローチャートである。

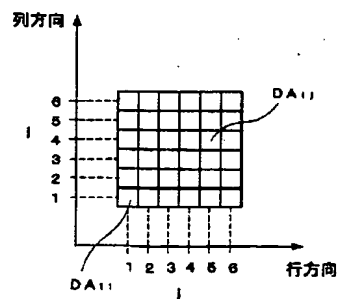
【符号の説明】

- | | |
|----|------------------------------|
| 1 | 光源（光強度可変機構の一部） |
| 3 | 粗調器（光強度可変機構の一部） |
| 19 | ステージ制御系（フォーカス調整系の一部） |
| 20 | 主制御装置（調整装置） |
| 21 | ウエハ駆動装置（駆動機構） |
| 29 | 記憶装置 |
| 10 | 40 照射光学系（検出系の一部、フォーカス調整系の一部） |
| | 42 受光光学系（検出系の一部、フォーカス調整系の一部） |
| | PL 投影光学系 |
| | R レチクル（マスク） |
| | R_r レチクル（測定用マスク） |
| | W ウエハ（感応基板） |
| | W_r ウエハ（測定用感応基板） |

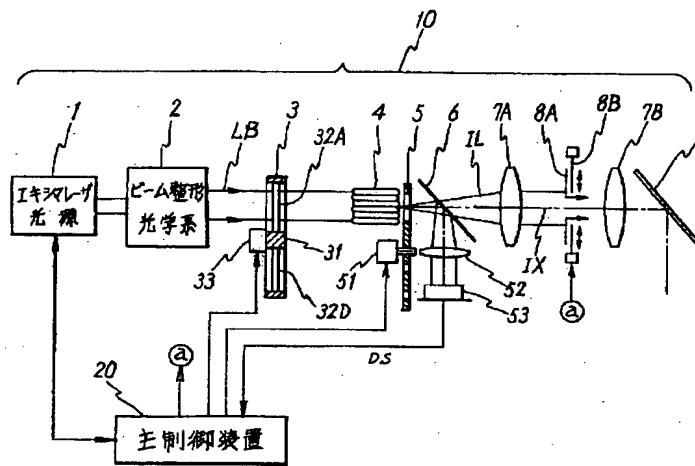
【図 3】



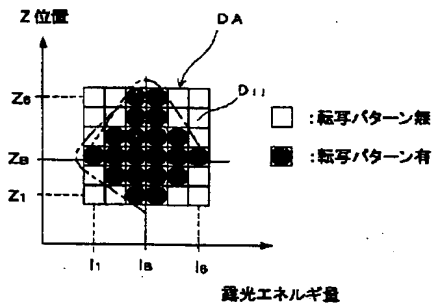
【図 1 0】



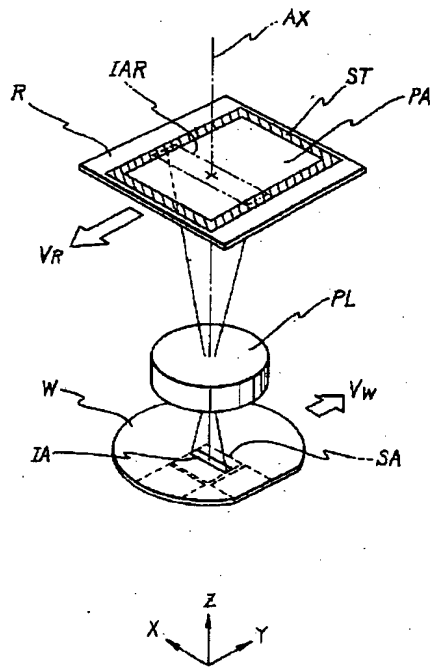
【図 2】



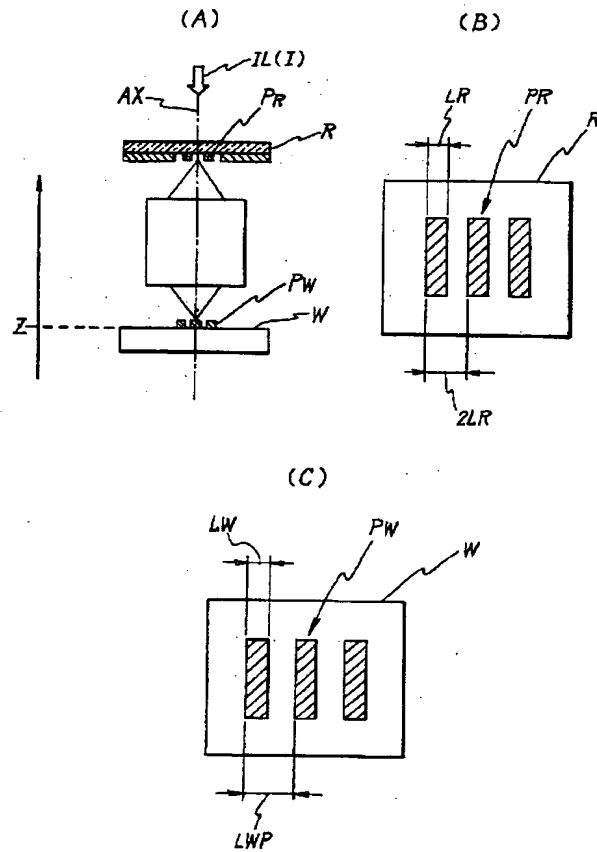
【図 11】



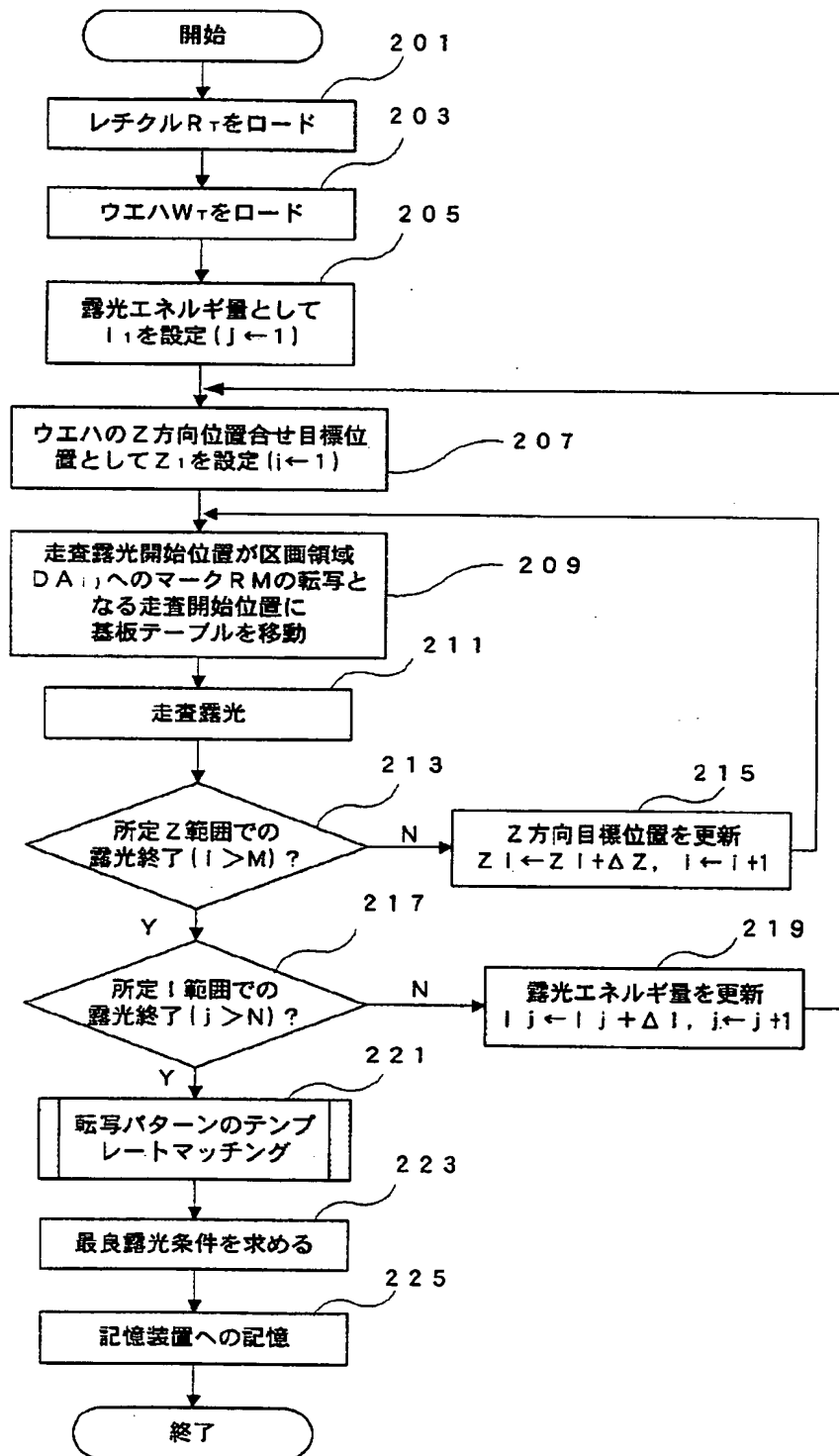
【図 4】



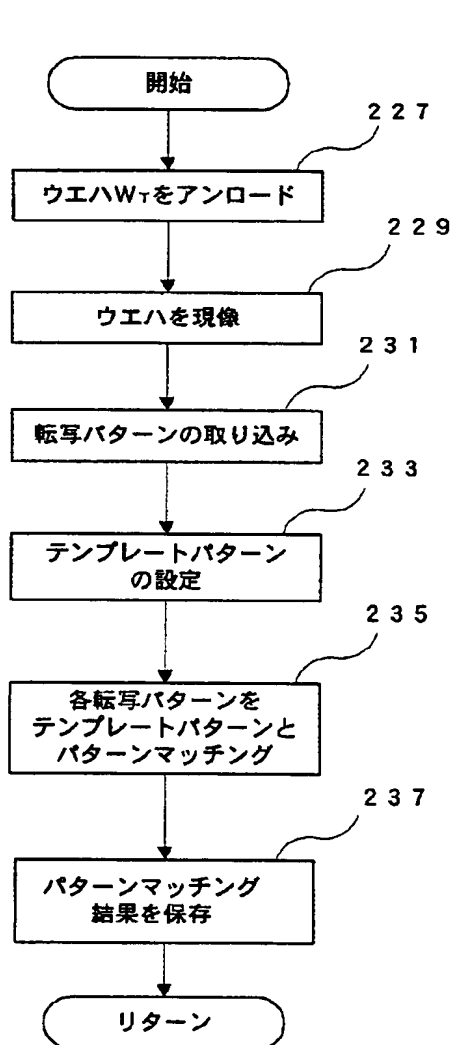
【図 5】



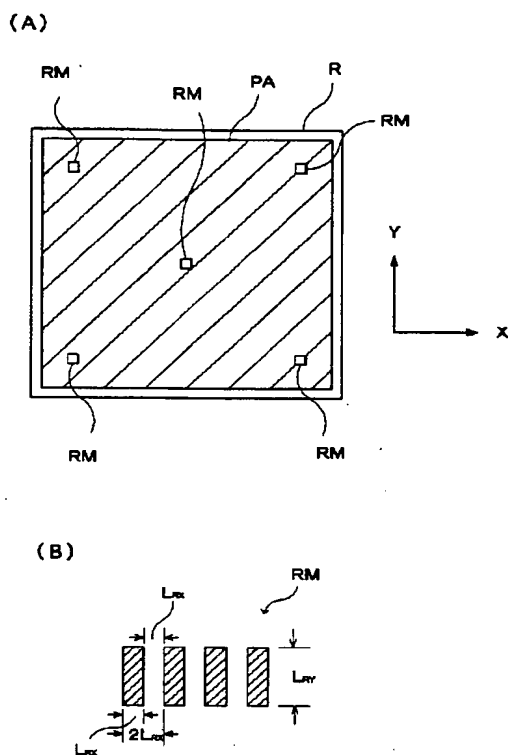
【図 6】



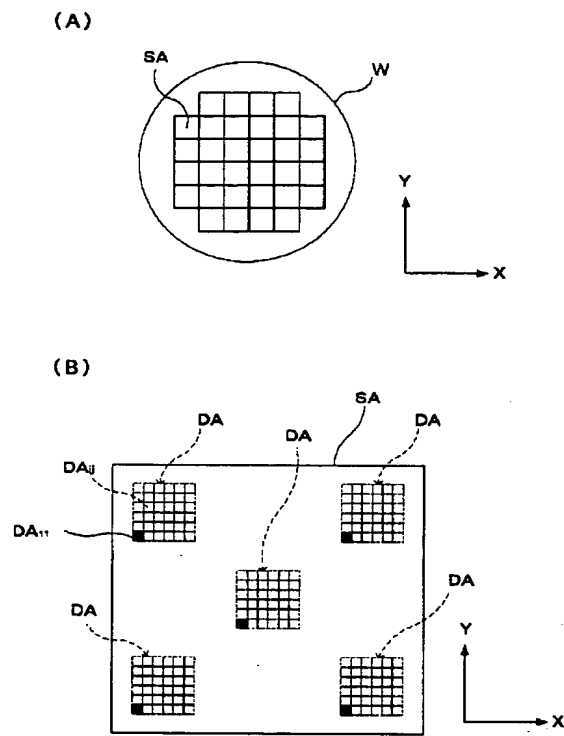
【図 7】



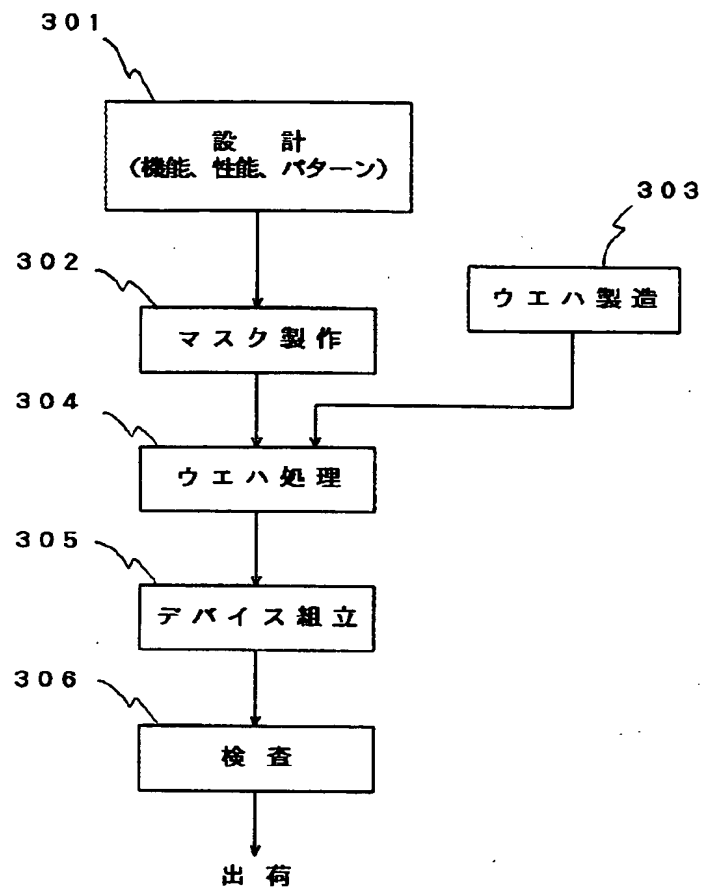
【図 8】



【図 9】



【図 1 2】



【図 1 3】

